



Acerca de este libro

Esta es una copia digital de un libro que, durante generaciones, se ha conservado en las estanterías de una biblioteca, hasta que Google ha decidido escanearlo como parte de un proyecto que pretende que sea posible descubrir en línea libros de todo el mundo.

Ha sobrevivido tantos años como para que los derechos de autor hayan expirado y el libro pase a ser de dominio público. El que un libro sea de dominio público significa que nunca ha estado protegido por derechos de autor, o bien que el período legal de estos derechos ya ha expirado. Es posible que una misma obra sea de dominio público en unos países y, sin embargo, no lo sea en otros. Los libros de dominio público son nuestras puertas hacia el pasado, suponen un patrimonio histórico, cultural y de conocimientos que, a menudo, resulta difícil de descubrir.

Todas las anotaciones, marcas y otras señales en los márgenes que estén presentes en el volumen original aparecerán también en este archivo como testimonio del largo viaje que el libro ha recorrido desde el editor hasta la biblioteca y, finalmente, hasta usted.

Normas de uso

Google se enorgullece de poder colaborar con distintas bibliotecas para digitalizar los materiales de dominio público a fin de hacerlos accesibles a todo el mundo. Los libros de dominio público son patrimonio de todos, nosotros somos sus humildes guardianes. No obstante, se trata de un trabajo caro. Por este motivo, y para poder ofrecer este recurso, hemos tomado medidas para evitar que se produzca un abuso por parte de terceros con fines comerciales, y hemos incluido restricciones técnicas sobre las solicitudes automatizadas.

Asimismo, le pedimos que:

- + *Haga un uso exclusivamente no comercial de estos archivos* Hemos diseñado la Búsqueda de libros de Google para el uso de particulares; como tal, le pedimos que utilice estos archivos con fines personales, y no comerciales.
- + *No envíe solicitudes automatizadas* Por favor, no envíe solicitudes automatizadas de ningún tipo al sistema de Google. Si está llevando a cabo una investigación sobre traducción automática, reconocimiento óptico de caracteres u otros campos para los que resulte útil disfrutar de acceso a una gran cantidad de texto, por favor, envíenos un mensaje. Fomentamos el uso de materiales de dominio público con estos propósitos y seguro que podremos ayudarle.
- + *Conserve la atribución* La filigrana de Google que verá en todos los archivos es fundamental para informar a los usuarios sobre este proyecto y ayudarles a encontrar materiales adicionales en la Búsqueda de libros de Google. Por favor, no la elimine.
- + *Manténgase siempre dentro de la legalidad* Sea cual sea el uso que haga de estos materiales, recuerde que es responsable de asegurarse de que todo lo que hace es legal. No dé por sentado que, por el hecho de que una obra se considere de dominio público para los usuarios de los Estados Unidos, lo será también para los usuarios de otros países. La legislación sobre derechos de autor varía de un país a otro, y no podemos facilitar información sobre si está permitido un uso específico de algún libro. Por favor, no suponga que la aparición de un libro en nuestro programa significa que se puede utilizar de igual manera en todo el mundo. La responsabilidad ante la infracción de los derechos de autor puede ser muy grave.

Acerca de la Búsqueda de libros de Google

El objetivo de Google consiste en organizar información procedente de todo el mundo y hacerla accesible y útil de forma universal. El programa de Búsqueda de libros de Google ayuda a los lectores a descubrir los libros de todo el mundo a la vez que ayuda a autores y editores a llegar a nuevas audiencias. Podrá realizar búsquedas en el texto completo de este libro en la web, en la página <http://books.google.com>



A propos de ce livre

Ceci est une copie numérique d'un ouvrage conservé depuis des générations dans les rayonnages d'une bibliothèque avant d'être numérisé avec précaution par Google dans le cadre d'un projet visant à permettre aux internautes de découvrir l'ensemble du patrimoine littéraire mondial en ligne.

Ce livre étant relativement ancien, il n'est plus protégé par la loi sur les droits d'auteur et appartient à présent au domaine public. L'expression "appartenir au domaine public" signifie que le livre en question n'a jamais été soumis aux droits d'auteur ou que ses droits légaux sont arrivés à expiration. Les conditions requises pour qu'un livre tombe dans le domaine public peuvent varier d'un pays à l'autre. Les livres libres de droit sont autant de liens avec le passé. Ils sont les témoins de la richesse de notre histoire, de notre patrimoine culturel et de la connaissance humaine et sont trop souvent difficilement accessibles au public.

Les notes de bas de page et autres annotations en marge du texte présentes dans le volume original sont reprises dans ce fichier, comme un souvenir du long chemin parcouru par l'ouvrage depuis la maison d'édition en passant par la bibliothèque pour finalement se retrouver entre vos mains.

Consignes d'utilisation

Google est fier de travailler en partenariat avec des bibliothèques à la numérisation des ouvrages appartenant au domaine public et de les rendre ainsi accessibles à tous. Ces livres sont en effet la propriété de tous et de toutes et nous sommes tout simplement les gardiens de ce patrimoine. Il s'agit toutefois d'un projet coûteux. Par conséquent et en vue de poursuivre la diffusion de ces ressources inépuisables, nous avons pris les dispositions nécessaires afin de prévenir les éventuels abus auxquels pourraient se livrer des sites marchands tiers, notamment en instaurant des contraintes techniques relatives aux requêtes automatisées.

Nous vous demandons également de:

- + *Ne pas utiliser les fichiers à des fins commerciales* Nous avons conçu le programme Google Recherche de Livres à l'usage des particuliers. Nous vous demandons donc d'utiliser uniquement ces fichiers à des fins personnelles. Ils ne sauraient en effet être employés dans un quelconque but commercial.
- + *Ne pas procéder à des requêtes automatisées* N'envoyez aucune requête automatisée quelle qu'elle soit au système Google. Si vous effectuez des recherches concernant les logiciels de traduction, la reconnaissance optique de caractères ou tout autre domaine nécessitant de disposer d'importantes quantités de texte, n'hésitez pas à nous contacter. Nous encourageons pour la réalisation de ce type de travaux l'utilisation des ouvrages et documents appartenant au domaine public et serions heureux de vous être utile.
- + *Ne pas supprimer l'attribution* Le filigrane Google contenu dans chaque fichier est indispensable pour informer les internautes de notre projet et leur permettre d'accéder à davantage de documents par l'intermédiaire du Programme Google Recherche de Livres. Ne le supprimez en aucun cas.
- + *Rester dans la légalité* Quelle que soit l'utilisation que vous comptez faire des fichiers, n'oubliez pas qu'il est de votre responsabilité de veiller à respecter la loi. Si un ouvrage appartient au domaine public américain, n'en déduisez pas pour autant qu'il en va de même dans les autres pays. La durée légale des droits d'auteur d'un livre varie d'un pays à l'autre. Nous ne sommes donc pas en mesure de répertorier les ouvrages dont l'utilisation est autorisée et ceux dont elle ne l'est pas. Ne croyez pas que le simple fait d'afficher un livre sur Google Recherche de Livres signifie que celui-ci peut être utilisé de quelque façon que ce soit dans le monde entier. La condamnation à laquelle vous vous exposeriez en cas de violation des droits d'auteur peut être sévère.

À propos du service Google Recherche de Livres

En favorisant la recherche et l'accès à un nombre croissant de livres disponibles dans de nombreuses langues, dont le français, Google souhaite contribuer à promouvoir la diversité culturelle grâce à Google Recherche de Livres. En effet, le Programme Google Recherche de Livres permet aux internautes de découvrir le patrimoine littéraire mondial, tout en aidant les auteurs et les éditeurs à élargir leur public. Vous pouvez effectuer des recherches en ligne dans le texte intégral de cet ouvrage à l'adresse <http://books.google.com>



THE LIBRARY
OF THE



CLASS En 620.6

BOOK q Soll



BULLETIN
DE LA
SOCIÉTÉ INTERNATIONALE
DES
ÉLECTRICIENS.

PARIS. — IMPRIMERIE GAUTHIER-VILLARS.
37836 Quai des Grands-Augustins, 55.

BULLETIN
DE LA
SOCIÉTÉ INTERNATIONALE
DES
ÉLECTRICIENS.

LA SOCIÉTÉ INTERNATIONALE DES ÉLECTRICIENS A ÉTÉ RECONNUE D'UTILITÉ PUBLIQUE LE 7 DÉCEMBRE 1886.

DEUXIÈME SÉRIE.
TOME VI. — ANNÉE 1906.



SIÈGE SOCIAL }
LABORATOIRE } 12 et 14, rue de Staël,
à Paris.

PARIS,

GAUTHIER-VILLARS, IMPRIMEUR-LIBRAIRE
DU BUREAU DES LONGITUDES, DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE,
Quai des Grands-Augustins, 55.

1906

© 1984
AUGUST
1984

BULLETIN
DE LA
SOCIÉTÉ INTERNATIONALE
DES
ÉLECTRICIENS.

SOMMAIRE.

Admission de Membres titulaires, p. 6. — Les étalons mercuriels de résistance électrique (M. Ch.-Ed. Guillaume), p. 7; Observation (M. P. Janet), p. 19.

INFORMATIONS, p. 21.

BIBLIOGRAPHIE, p. 22.

OUVRAGES OFFERTS, p. 23.

COMPTE RENDU

DE LA

RÉUNION ORDINAIRE MENSUELLE

du samedi 6 janvier 1906 ⁽¹⁾ ⁽²⁾.

PRÉSIDENCE DE M. E. BOUTY.

La séance est ouverte à 8^h35^m du soir.

Le procès-verbal de la dernière réunion mensuelle est adopté.

Il est donné connaissance des Ouvrages offerts à la Société pour la Bibliothèque (*voir* p. 23), et des demandes d'admission suivantes :

⁽¹⁾ La Société n'est pas solidaire des opinions émises par ses membres dans les discussions, ni responsable des Notes ou Mémoires publiés dans le *Bulletin*.

⁽²⁾ Pour les mêmes raisons que précédemment, cette Réunion a été tenue dans l'Amphithéâtre de Physique, à la Sorbonne.

498014

APR 10 1906 Stachert

MM.

Bourrellis (Lucien-Louis-Guillaume), Enseigne de vaisseau, *Défense mobile d'Ajaccio* (Corse). — Présenté par MM. Janet et Chaumat.

Bouvier (Charles-Cyrille), Ingénieur des *Manufactures de l'État*, Directeur des *Services électriques du Ministère des Finances*; 63, quai d'Orsay, Paris. — Présenté par MM. Laporte et Christmann.

Devaux (Émile), Ingénieur au *Syndicat des Commandes électriques sans fil et des Engins porte-torpilles à commande hertzienne*; 43, rue de Verneuil, Paris. — Présenté par MM. Brylinski et Daguerre.

Estrade (Joachim), Directeur des *Sociétés méridionales d'Electricité et de Transport de force*, à Carcassonne (Aude). — Présenté par MM. Bernheim et J. Berthon.

Flayelle (Gustave), Propriétaire, Correspondant de la *Revue pratique de l'Electricité*, à Valenciennes (Nord). — Présenté par MM. Damien et Montpellier.

Langevin (Paul), Professeur suppléant au *Collège de France*, Professeur à l'*École de Physique et de Chimie*; 29, rue Gazan, à Paris. — Présenté par MM. Mascart et Hospitalier.

Russell (Charles-J.), District Manager of the *Philadelphia Electric Co.*; Tacony, Philadelphia (Pens.) (U. S. A.). — Présenté par MM. Carl Héring et Hunter.

Tissot (Camille), Lieutenant de Vaisseau, Professeur à l'*École navale*, à Brest (Finistère). — Présenté par MM. Pellat et Blondin.

Urquidí (Francisco), Ingénieur au *service du Gouvernement des Etats-Unis mexicains*; 4, Escalerillas, à Mexico (Mexique). — Présenté par MM. Janet et Chaumat.

Ces candidats sont élus membres titulaires de la Société internationale des Électriciens.

M. le PRÉSIDENT donne lecture d'une lettre par laquelle M. Violle l'informe que M^{me} V^{ve} Potier fait don à la Société internationale des Électriciens d'une importante collection de livres provenant de la bibliothèque de son mari. Il ajoute que, le Bureau s'étant montré très sensible à cette délicate attention, il est allé en remercier M^{me} Potier en se faisant l'interprète de la Société.

Il est fait part du décès de MM. *Droguet, Radiguet et Kuczinski*. M. le PRÉSIDENT en exprime ses regrets au nom de la Société et mentionne les services rendus par M. Radiguet à la cause de l'Électricité.

L'ordre du jour appelle les Communications techniques.

LES ÉTALONS MERCURIELS DE RÉSISTANCE ÉLECTRIQUE.

M. GUILLAUME. — « Les mesures de M. Girousse, communiquées à la Société dans sa dernière séance, ont montré que des étalons mercuriels, construits en 1884 par M. Benoit, ont conservé une remarquable constance *relative*; mais ces expériences ne fournissent des indications certaines sur la constance *absolue* des étalons que si l'on soumet leurs résultats à une discussion approfondie.

» D'autre part, les résultats rapportés par M. Janet, d'après des expériences faites sur des étalons secondaires, constitués par des tubes recourbés, montrent des divergences notables, qui pourraient faire croire, à première vue, à des variations relatives considérables. Il est utile d'examiner aussi ces résultats avec soin.

CAUSES DE VARIATION DES ÉTALONS MERCURIELS.

» La résistance d'un étalon mercuriel est entièrement donnée : 1° par la forme géométrique de la colonne de mercure; 2° par la nature du mercure; 3° par sa température; 4° par la pression à laquelle il est soumis.

» Écartons d'abord cette quatrième cause de variation, qui est pratiquement nulle dans les limites de pression entre lesquelles on peut être appelé à opérer.

» Nous allons examiner dans leur ordre les trois premières.

» *Forme géométrique.* — On sait, depuis longtemps, que les verres de toutes natures éprouvent, dans le cours du temps, des changements de volume, dans le sens d'une contraction lente et continue, qui va graduellement en s'atténuant. L'effet de ces changements est d'accroître la résistance des étalons, puisque cette action agit par deux puissances sur la section, et par une seule sur la longueur. Le changement résultant est ainsi proportionnel aux variations relatives linéaires du verre.

» Or les variations de volume des verres de toutes sortes ont été étudiées avec le plus grand soin pour le perfectionnement d'un autre instrument de mesure, le thermomètre. Il y a près de cent ans, on employait, pour la construction des thermomètres, des verres durs; puis, autant pour la facilité du soufflage que pour l'aspect des tiges, les fabricants en sont venus de plus en plus à adopter des cristaux facilement fusibles dont les variations de volume sont beaucoup plus considérables que celles du verre dur; il s'est produit ainsi ce fait singulier que, au point de vue de leurs changements avec le temps, les thermomètres sont devenus d'autant plus mauvais que l'on exigeait d'eux une précision plus élevée.

» Une réaction se produisit vers 1880; les travaux du Bureau international des Poids et Mesures d'une part, des recherches de la Normal-Eichungs Commission de Berlin, d'autre part, établirent bien nettement les conditions de faible variation des verres, tandis que la création du laboratoire d'Iéna amenait à la fabrication de verres spécialement adaptés à la Thermométrie.

» Mais ce ne fut guère qu'en 1884 que la supériorité des verres durs sur les cristaux plombeux ou sur les verres à deux alcalis fut bien nettement établie, de telle sorte que, dans son travail fondamental de construction des étalons mercuriels, M. Benoit pensa pouvoir encore s'attacher plutôt à la qualité géométrique des tubes dont il disposait qu'à la composition chimique de leurs parois. On ne doit pas le regretter trop aujourd'hui, car les comparaisons qui viennent d'être faites permettront des conclusions très rassurantes, par le rapprochement des changements des deux genres d'étalons.

» L'étude des thermomètres permet de déterminer très aisément la limite de variation possible des tubes employés pour les étalons mercuriels.

» La dilatation relative du mercure dans le verre est telle que, lorsqu'un thermomètre indique une élévation de température de 1 degré, le volume relatif du mercure a augmenté d'une quantité comprise entre $\frac{1}{6300}$ et $\frac{1}{6600}$ suivant l'espèce de verre considérée; en d'autres termes, le réservoir d'un thermomètre contient, à 0°, 6300 à 6600 degrés. Si donc la contraction du réservoir est telle que le zéro se trouve remonté de 1 degré, la variation linéaire du verre est d'un ordre voisin de $\frac{1}{20000}$; et un étalon mercuriel, dont

l'enveloppe aurait varié dans la même proportion, se trouverait augmenté de cette quantité relative.

» Il existe, au Bureau international des Poids et Mesures, une importante série de thermomètres, dont l'ascension lente du zéro est suivie depuis plus de 20 ans. Dans la première année, les résultats sont un peu irréguliers, pour chaque instrument, en raison des chauffes nombreuses à 100° auxquelles les thermomètres sont soumis en vue de la détermination de leur intervalle fondamental. Mais, à partir du début de la deuxième année, les instruments employés au Bureau sont pour la plupart maintenus à des températures peu élevées, et la marche de leur zéro est bien régulière. On a trouvé les ascensions moyennes suivantes pour des thermomètres en verre dur :

Dans la deuxième année.....	0,02 degré
Dans la troisième année.....	0,01 degré
A partir de la dixième année.....	environ 0,001 degré par an

» La première année étant exceptée, l'ascension totale, en 20 ans, est de 0,05 degré environ.

» Pour appliquer ces résultats aux étalons mercuriels, il est nécessaire de faire quelques remarques préliminaires : le réservoir des thermomètres est soumis, dans la fabrication de l'instrument, à une nouvelle fusion partielle qui le ramène à peu près dans l'état du verre neuf. Au contraire, les tubes employés à des étalons mercuriels subissent un repos prolongé à la température ordinaire, avant d'être définitivement convertis en étalons. Ces délais sont imposés d'abord par le travail assez long du choix des tubes, qui en fait éliminer souvent des centaines avant qu'on en trouve un seul qui remplisse toutes les conditions requises, de régularité de la section et de valeur du diamètre moyen; à ce choix succède le tracé, puis l'étude par calibrage, la détermination de la longueur, etc.; la dernière opération étant le jaugeage, c'est à partir du jaugeage que les variations doivent compter; et, lorsque cette opération est entreprise, quelque diligence que l'on ait mise aux autres, il s'est écoulé bien près d'une année depuis l'étrépage des tubes à la verrerie.

» Si donc nous admettons des changements semblables à ceux qui ont été constatés dans les thermomètres à partir de la fin de la première année, nous serons dans l'ordre de grandeur des varia-

tions cherchées; et, d'après les nombres donnés ci-dessus, on en conclura que le volume d'un tube à étalon mercureiel en verre dur a pu se modifier, en 20 ans, au maximum de $\frac{0,05}{20000} = 0,000025$.

» Pour le cristal dur, tel que celui qu'a employé M. Benoit pour deux de ses étalons, la variation, dans le même laps de temps, est environ six fois plus grande, soit 0,0000150 pour la valeur de l'étalon. L'écart de ces deux nombres est 0,0000125. Celui qu'a trouvé en moyenne M. Girousse entre les deux groupes d'étalons de verre et de cristal est environ deux fois moindre, résultat que l'on peut interpréter de plusieurs façons : ou bien par des erreurs dans les mesures, qui, remarquons-le, n'auraient eu besoin d'atteindre que quelques millionièmes; ou bien par une faible attaque du cristal dans les derniers nettoyages des tubes; ou encore, dans le fait que, au moment des premières comparaisons, les tubes étaient déjà à un degré de stabilisation plus avancé que celui dans lequel se trouvaient les thermomètres au début des études dont il vient d'être question; ou enfin parce que la chauffe appliquée aux tubes pour les sécher lors du dernier nettoyage, fait peu avant les comparaisons de M. Girousse, a produit ce qu'on nomme en thermométrie une *dépression*, c'est-à-dire un retour en arrière, par une dilatation passagère des tubes. Ce retour en arrière est beaucoup plus accentué dans le cristal que dans le verre dur.

» Une discussion plus approfondie serait, d'ailleurs, sans grand intérêt, puisqu'il s'agit ici de quantités à peine mesurables. Il convient de noter toutefois que l'écart entre les deux groupes d'étalons est bien dans le sens prévu, ce qui confirme l'idée, courante depuis une vingtaine d'années, que les verres durs doivent seuls être employés dans des instruments où une grande constance du volume est essentielle. Au surplus, les changements du verre peuvent être atténués encore par un étuvage systématique du tube neuf, qui l'amène, pour la suite, bien au-dessous des plus petites quantités mesurables.

» On peut se demander si l'analogie entre les thermomètres et les copies de l'ohm faites avec des tubes repliés plusieurs fois sur eux-mêmes est assez intime pour que les résultats indiqués ci-dessus puissent nous rassurer complètement sur la tenue des copies dans le

cours du temps. Telle n'était pas l'opinion de M. Salvioni, auquel on doit aussi la construction d'ohms étalons, et qui, dans une correspondance que nous avons échangée en 1891, exprimait des doutes à ce sujet.

» Pour examiner la question, j'ai construit un thermomètre dont le réservoir était fait avec un tube recourbé en U, et de tous points semblable à ceux des étalons mercuriels. L'ascension du zéro de ce thermomètre, poursuivie pendant quelques années, s'est montrée plutôt un peu inférieure à celle des thermomètres, ce qui est bien d'accord avec les résultats trouvés sur les prototypes de l'ohm.

» *Impuretés du mercure.* — Les métaux étrangers dissous dans le mercure modifient sensiblement sa résistivité (¹), et il est absolument essentiel d'opérer avec du mercure bien purifié. Ce résultat est heureusement facile à obtenir. En traitant le mercure impur par l'acide nitrique, on oxyde la plupart des métaux qu'il peut contenir, puis, en le distillant dans le vide, on laisse dans le résidu les métaux inoxydables, tels que le platine et l'or qu'il pourrait encore renfermer. L'aspect seul du mercure renseigne très rapidement sur sa pureté; lorsqu'il ne laisse aucune trainée visible sur un papier blanc, ou, mieux encore, lorsqu'un jet prolongé de mercure sur de la porcelaine ne produit aucune marque, il possède une résistivité qui ne diffère pas sensiblement de la normale.

» Dans leurs expériences de 1885, MM. Benoit et de Nerville ont employé du mercure de toutes provenances, même ramassé sur le plancher du laboratoire, ou intentionnellement sali avec du zinc ou d'autres métaux, puis traité aux acides. Il leur a été impossible de trouver des variations de résistivité pour des échantillons qui avaient les apparences du mercure pur.

» L'insuffisante pureté du mercure est, sans aucun doute, la cause des variations rapportées par M. Janet. D'après Michaelis, $\frac{1}{10000}$ de cuivre relève de $\frac{1}{1000}$ la conductivité du mercure; or, dans la comparaison d'étalons quelconques avec les étalons mercuriels, il est assez difficile d'éviter toute introduction de métaux étrangers dans l'ohm étalon.

(¹) Expériences de Lenz, de Matthiessen, de Michaelis.

» Dans des comparaisons semblables, que j'ai faites de 1888 à 1890, les contacts employés, qui passaient d'un étalon à l'autre, se composaient de calottes de platine, soudées à l'extrémité de fortes tiges de cuivre, et recouvertes, à leur partie supérieure, par des tubes de verre bien jointifs, mastiqués, par surcroît de précaution, sur le platine. Lorsqu'on passait des augets aux copies mercurielles, les capsules étaient essuyées avec beaucoup de soin, puis plongées dans un bain de mercure propre dans lequel elles étaient vigoureusement secouées, essuyées de nouveau, et souvent plongées encore une fois dans le bain de mercure. Grâce à ces précautions, j'ai pu conserver sans variations appréciables l'ohm de comparaison.

» M. Benoit a bien voulu m'associer, dès l'année 1885, à la comparaison des nombreuses copies mercurielles ajustées sur les étalons prototypes qu'il avait construits en 1884; quelques-unes des copies ont été comparées directement aux prototypes; d'autres par l'intermédiaire de ces premières copies. J'ai été ainsi conduit à faire, de 1885 à 1890, des comparaisons nombreuses, notamment entre six copies restées pendant cette période au Bureau international. Les écarts de ces six copies par rapport à leur moyenne, au début et à la fin de ces cinq années, sont les suivants :

Etalons.	Valeurs par rapport à la moyenne.	
	en 1885.	en 1890.
N° 3, cristal	+0,000 58 ω	+0,000 55 ω
N° 46, verre	+0,000 88 ω	+0,000 90 ω
N° 47, cristal	—0,000 04 ω	—0,000 01 ω
N° 49, verre	—0,000 17 ω	—0,000 17 ω
N° 69, verre	—0,000 37 ω	—0,000 39 ω
N° 330, cristal	—0,000 88 ω	—0,000 89 ω

» L'étalon n° 47 semble avoir augmenté, tandis que l'étalon n° 3 aurait diminué. Or, en 1889, l'écart de l'étalon n° 3 par rapport à la moyenne était de + 0,000 60 ω . Mais, après des démontages nombreux, en 1889 et 1890, on put constater, à l'une des extrémités du tube, une petite écaille qui n'avait pas été remarquée auparavant, et qui paraît attribuable à un accident. Il a pu en résulter une faible diminution dans la résistance d'épanouissement, ce qui, joint au phénomène de la dépression, rappelé précédemment, expliquerait ce changement peut-être en partie passager, de sens anormal, pour un étalon en cristal.

» Si on limite la comparaison aux étalons en verre dur, on voit que les changements par rapport à la moyenne sont, au maximum, de $0,00002 \omega$, quantité qui dépasse de bien peu les erreurs possibles des observations.

» Cette permanence des étalons, pendant cinq années d'un emploi constant, confirme l'hypothèse suivant laquelle la variation des étalons comparés au Laboratoire central est due essentiellement à l'impureté du mercure.

» *Variation avec la température.* — Malgré des déterminations très nombreuses, il ne semblait pas, à l'époque où M. Benoit construisit ses prototypes de l'ohm légal, que la variation de résistivité du mercure en fonction de la température fût suffisamment connue pour permettre d'opérer la réduction à 0° avec une précision de l'ordre de celle que garantissaient les autres parties de la mesure. J'entrepris donc une nouvelle détermination de sa valeur, me proposant de ne rien négliger pour qu'elle fût aussi exacte que possible. Je consacrai à ces mesures, d'abord quatre mois d'un labeur ininterrompu, pendant l'hiver 1889-1890. Puis, soupçonnant encore quelque incertitude dans le résultat trouvé, je repris le travail *ab ovo* l'année suivante, et y passai encore six mois à répéter les mesures, sans compter le temps employé à réinstaller complètement tous les appareils, et à construire de nouveaux étalons.

» La relation minutieuse de ce travail sera publiée bientôt en détail. Il suffira, pour le moment, d'en donner une rapide esquisse.

» Les étalons mercuriels avaient environ 1 ohm de résistance. L'un d'eux était amené successivement à des températures diverses, tandis que l'autre, maintenu à une température à peu près constante, servait d'étalon. Les tubes étaient horizontaux, contournés plusieurs fois, et aboutissaient à des godets très larges, placés côte à côte. Les tubes étaient d'assez forte section pour que la chauffe produite par le courant fût négligeable.

» Dans la première série de mesures, les tubes débouchaient directement dans des godets terminaux (*fig. 1*); dans la seconde, au contraire, ils aboutissaient à des appendices tubulaires, de 10 mm de diamètre environ (*fig. 3*), qui prenaient parfaitement la température du bain et empêchaient que la transmission de la chaleur par

les tiges de contact atteignent l'étalon. C'est à la négligence de cette précaution que l'on peut attribuer le fait que la plupart des déterminations, y compris celle de ma première série, ont donné, pour la variation cherchée, un nombre un peu trop bas.

» La difficulté de construire les pièces de contact imaginées par M. Benoit, de manière à ce qu'elles puissent supporter des températures élevées, m'engagea à revenir aux contacts de la forme ancienne, consistant seulement (*fig. 1*) en une calotte de platine

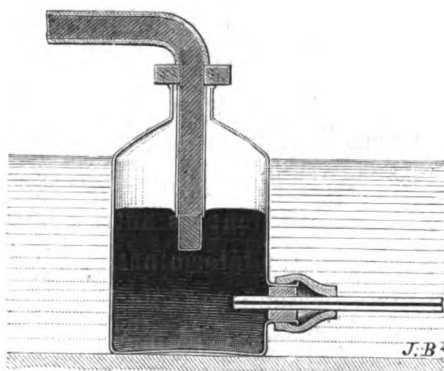


Fig. 1.

soudée à l'extrémité d'une forte tige de cuivre; cette dernière étant protégée par un tube de verre, on peut sans danger plonger le platine

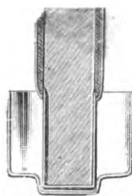


Fig. 2.

entièrement dans le mercure. J'espérais, en tenant la surface du mercure toujours très propre, éviter la pellicule de poussières, d'oxyde ou de buée qui la recouvre parfois et qui introduit fatalement un mauvais contact dans le circuit, par le fait que les métaux non amalgamés entraînent cette pellicule et s'en entourent plutôt que de la traverser. Mais, malgré toutes les précautions prises, il se produisit

plusieurs fois des contacts imparfaits, surtout aux températures basses.

» Dans le dernier travail, je revins aux contacts de la forme indiquée par M. Benoit (*fig. 2*), et qui donnent des résultats excellents aussi longtemps qu'on opère à la température ambiante; j'avais seulement modifié leur construction de manière à leur permettre de résister à une chauffe atteignant 100° . Mais je constatai bientôt que les forces électromotrices de contact sont extrêmement variables dès que l'on s'éloigne un peu de la température ambiante; dans ces conditions, les mesures deviennent bientôt impossibles.

» Enfin j'adoptai une combinaison des deux systèmes (*fig. 2*).

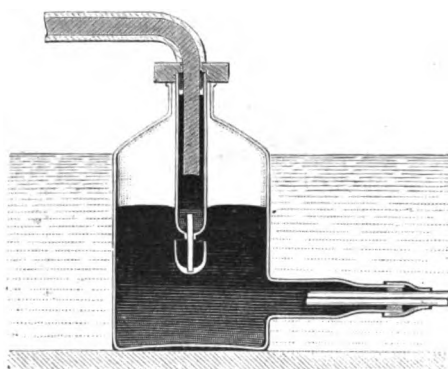


Fig. 3.

consistant à faire supporter, par la calotte de platine, un godet qui reste toujours plein de mercure.

» La mesure des différences de résistance a été faite par deux procédés distincts. La méthode générale étant toujours celle du pont, avec substitution dans la même branche, on établissait l'équilibre soit par le déplacement du contact central sur un fil calibré, soit en mettant en dérivation sur la résistance la plus forte des résistances connues (*fig. 4*). Les mesures par les deux méthodes ont été faites d'une façon tout à fait indépendante. L'intercalation alternée, dans le circuit d'augets de mercure plongés dans le bain à côté de chacun des étalons, permettait d'éliminer complètement la variation de résistance des contacts.

» Tous les appareils de mesure électrique dont je me suis servi

avaient été prêtés à M. Benoit, pour son premier travail, par notre collègue M. Carpentier, ou ont été établis spécialement pour mes mesures, et mis également avec la plus grande amabilité à ma disposition.

» Mes dernières mesures ont couvert tout l'intervalle de 0° à

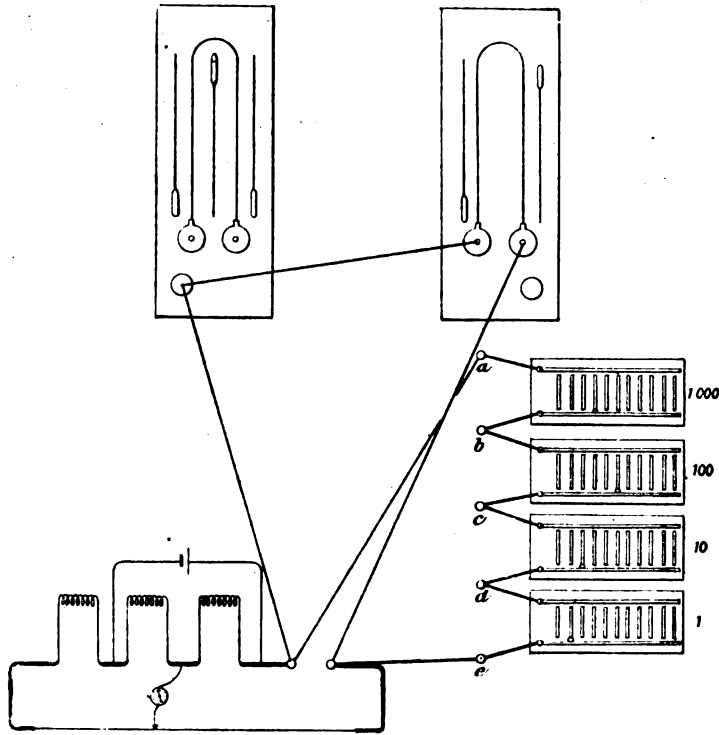


Fig. 4.

100° . L'avantage d'opérer dans un intervalle étendu est de diriger beaucoup mieux la courbe générale de variation, et surtout de permettre une séparation plus parfaite des termes de la fonction. On démontre, en effet, que, pour des mesures de même qualité moyenne et en nombre égal, chaque terme du développement est déterminé avec une précision proportionnelle à l'intervalle total de température, élevé à la puissance indiquée par le rang de ce terme. Ainsi, le terme en θ^2 est connu, toutes choses égales d'ailleurs, avec une précision égale au carré de l'intervalle de température.

» Les formules de variation fournies par mes dernières compari-

sons, et exprimées en fonction de l'échelle normale des températures, sont les suivantes :

» Variation apparente de la résistivité du mercure dans le verre dur (moyenne des deux méthodes)

$$(1) \quad \rho_0 = \rho_0 (1 + 0,000\,8809\,\theta + 0,000\,000\,999\,\theta^2).$$

» On en déduit, pour la variation absolue,

$$(1') \quad \rho'_0 = \rho'_0 (1 + 0,000\,8881\,\theta + 0,000\,001\,010\,\theta^2).$$

» Ainsi qu'il a été dit, les résultats fournis par ces formules donnent des variations supérieures à celles qui sont exprimées par la plupart des formules anciennes. Par exemple, la variation entre 0° et 100° qui s'en déduit, s'écarte de 30 pour 100 de celle que donne la formule de Matthiessen.

» Étant donné l'ordre de précision des mesures actuelles, on devrait commencer à s'apercevoir de l'erreur de réduction de la formule de Matthiessen, déjà à partir d'un écart de température de $\frac{1}{20}$ de degré entre deux étalons, ce qui n'empêche pas cette formule d'être restée classique.

» Mes déterminations ont été suivies de deux autres dont l'une a été effectuée, en 1892, à l'Institut physico-technique de Charlottenbourg, par MM. Kreichgauer et Jäger, et l'autre, tout récemment au National Laboratory, par M. F.-E. Smith.

» MM. Kreichgauer et Jäger ont donné, pour la variation vraie de la résistivité, exprimée dans l'échelle normale, la formule suivante :

$$(2) \quad \rho'_0 = \rho'_0 (1 + 0,000\,8827\,\theta + 0,000\,001\,26\,\theta^2).$$

» Cette formule a été établie par des expériences faites entre 15° et 28° environ, combinées avec une mesure indépendante faite à 0°. L'intervalle de température étant restreint, la séparation des deux coefficients ne pouvait pas être faite avec une très grande exactitude. De plus, en étudiant de près les mesures en question, on voit que, à part la mesure à 0°, les résultats sont mieux représentés par une formule dont le second terme est plus petit, et le premier plus fort, c'est-à-dire que, en faisant passer entre les points représentatifs des expériences de MM. Kreichgauer et Jäger une courbe plus droite et plus inclinée, on constate des écarts moindres.

» Si, par exemple, on adopte le deuxième coefficient de ma formule qui, toutes choses égales, doit être connu avec une précision trente ou quarante fois plus grande que celui de MM. Kreichgauer et Jäger, et si l'on recalcule le premier coefficient de manière à satisfaire aussi bien que possible à leurs mesures, on trouve

$$(2') \quad \rho_{\theta} = \rho_0 (1 + 0,0008884\theta + 0,000001010\theta^2),$$

formule pratiquement identique avec la mienne (1).

» M. Smith donne, pour la variation relative dans le verre dur, la formule

$$(3) \quad \rho_{\theta} = \rho_0 (1 + 0,0008804\theta + 0,000001031\theta^2),$$

trouvée par des expériences faites entre 0° et 22°.

» En adoptant, comme pour MM. Kreichgauer et Jäger, le terme quadratique trouvé par mes expériences, et en recalculant celles de M. Smith avec cette donnée, on trouve une formule identique, dans tous les chiffres significatifs, avec la formule (1). Les variations données par nos deux formules brutes sont les mêmes à $\frac{3}{1,000000}$ près, dans tout l'intervalle dans lequel M. Smith a opéré.

CONCLUSIONS.

» Les faits qui viennent d'être rapportés montrent que les variations de forme géométrique des enveloppes de verre dur n'ont guère pu entraîner, dans le passé, que des changements de l'ordre de quelques millièmes, dans la valeur des étalons mercuriels, quantité qui pourra être réduite encore dans l'établissement de nouveaux étalons, grâce à la connaissance que l'on possède maintenant des traitements à faire subir au verre pour assurer sa stabilité. Les procédés de purification du mercure sont suffisamment parfaits pour que l'on soit certain de réaliser la même résistivité initiale dans les

(1) La différence entre le nombre rond 0,000001000 et le nombre moyen résultant de mes mesures pour le coefficient de θ^2 de la variation relative de résistivité du mercure dans le verre est certainement inférieure à l'erreur probable de ce coefficient, qui, au surplus, a été trouvé plus élevé dans d'autres séries de mesures. Il est donc tout indiqué de simplifier la formule en adoptant un coefficient donné par un nombre simple et de recalculer le premier terme de manière à lui faire supporter le changement. On trouve ainsi

$$\rho_{\theta} = \rho_0 (1 + 0,0008808\theta + 0,000001000\theta^2).$$

limites de précision des meilleures mesures. La variation avec la température a été déterminée, dans trois laboratoires, par des méthodes différentes, et les résultats obtenus sont pratiquement identiques. On peut en conclure que les réductions à 0°, faites en partant des températures ordinaires, ne doivent pas entraîner, par le fait de la formule, d'erreurs supérieures à quelques millièmes. Enfin, comme c'est avec cette précision que des comparaisons peuvent être effectuées aujourd'hui, on peut indiquer le cent-millième comme limite d'erreur que ne doivent guère dépasser les bonnes déterminations faites, dans le cours des années, au moyen d'étalons prototypes dont on admet, au début, la valeur comme exacte.

» Or c'est à peu près aussi la limite d'erreur que M. Benoit avait été conduit à admettre pour la valeur de l'ohm légal déduite de l'ensemble de ses étalons au moment de leur construction. Peut-être les expériences accumulées depuis une vingtaine d'années permettront-elles, dans une future construction de l'ohm international, d'abaisser encore un peu cette limite; mais on n'y arrivera pas sans beaucoup de travail. Le cent-millième semble donc bien être la limite vers laquelle converge l'ensemble des erreurs aujourd'hui encore inévitables dans l'établissement, la conservation et la comparaison des prototypes de l'ohm. »

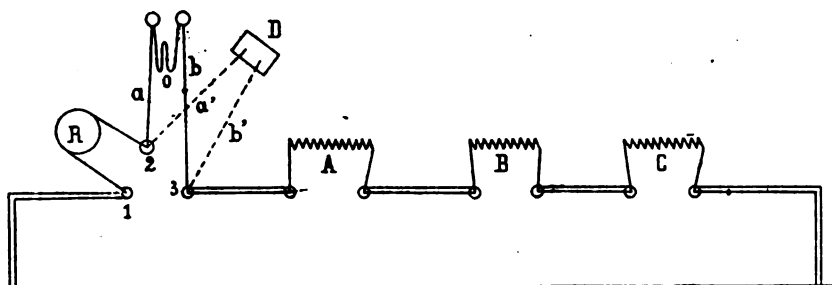
M. P. JANET. — « Je ferai remarquer, à propos de la Communication de M. Guillaume, que les expériences entreprises au Laboratoire central d'Électricité sur les comparaisons des ohms secondaires à mercure ont mis en évidence non pas une variation de ces étalons entre l'époque de leur construction (1884) et l'époque actuelle (1905), mais bien, au moins en ce qui concerne l'ohm 68 en cristal, une variation après et avant remplissage.

» Cette variation, et en cela je suis tout à fait d'accord avec M. Guillaume, ne peut être attribuée qu'à une altération, ou, si l'on veut, à une impureté du mercure et non pas à une altération de l'enveloppe. Mais l'origine de cette altération du mercure n'est certainement pas attribuable à la présence de faibles traces de cuivre provenant des manipulations de l'étalon.

» En effet, dans toutes les comparaisons qui ont été faites, même dans les comparaisons avec des résistances métalliques, les

connexions avec les étalons mercuriels secondaires ont toujours été établies au moyen de conducteurs à bout de platine, et ces bouts de platine eux-mêmes n'ont jamais été plongés que dans du mercure pur.

» La figure ci-dessous donne le schéma du mode opératoire em-



ployé pour la comparaison d'un ohm à mercure avec une caisse de résistances à chevilles.

» On voit que les tiges de cuivre qui terminent cette résistance R plongent dans des godets de mercure 1 et 2. Des godets 2 et 3 partent des barres de cuivre *a* et *b* terminées par des extrémités soigneusement platinées, qui plongent suivant le cas soit dans les ampoules terminales de l'ohm O, soit dans un récipient D plein de mercure pur.

» Dans le premier cas (traits pleins) la résistance R est mise en court-circuit par ses chevilles et le pont se trouve disposé pour la mesure de l'ohm à mercure.

» Le second cas, au contraire (traits pointillés), correspond à l'introduction dans le pont de l'ohm en maillechort.

» On voit bien que, d'une part, en opérant ainsi, on n'a pas à craindre de souiller le mercure de l'ohm et que, d'autre part, on élimine bien dans la comparaison toutes les résistances auxiliaires. On pourrait seulement avoir à craindre, en déplaçant ainsi les bouts platinés d'un récipient dans un autre, de ne pas reproduire de la même manière le contact mercure-platine, inconvénient que ne présentent pas les contacts de M. Benoit dont vient de parler M. Guillaume. Mais l'expérience nous a montré que les variations de résistance ainsi produites dans le circuit auxiliaire ne devaient guère dépasser quelques millièmes d'ohm.

» Au reste, un fait qui semble bien prouver que la variation

observée est due à une altération progressive du mercure et non à une impureté introduite accidentellement, est que cette variation a été continue depuis l'origine, comme le prouvent les nombres suivants que je rappelle :

	Ohm 44 (verre). — Ohm 68 (cristal).
1890.....	0,000 289
1897.....	0,000 484
1904.....	0,000 559

M. le PRÉSIDENT remercie M. Guillaume de sa très intéressante Communication.

M. LANGEVIN fait une Communication sur : *Recherches récentes sur la décharge disruptive; l'étincelle et l'arc électriques* (1).

M. le PRÉSIDENT remercie M. Langevin en exprimant l'espoir qu'il voudra bien, dans une prochaine Communication, achever les très belles démonstrations expérimentales dont il nous rend témoins. La Société est heureuse d'avoir provoqué cette série de Conférences et félicite M. Langevin de la forme si originale qu'il a su leur donner.

La séance est levée à 10^h50^m du soir.

INFORMATIONS.

Le *Syndicat des Forces hydrauliques* ouvre un Concours international pour un *Appareil limiteur de courant*.

Pour tous renseignements, s'adresser au Secrétaire du Syndicat des Forces hydrauliques, à la Chambre de Commerce de Grenoble.

Les Membres de la Société internationale des Électriciens qui désirent se rendre à l'invitation qui leur a été adressée par l'*Institution of Electrical Engineers*, de visiter Londres en 1906 (voir la lettre d'invitation, *Bulletin de la Société internationale des Électriciens*, t. V, décembre 1905, p. 702), sont priés de se faire inscrire au Secrétariat, 12, rue de Staël. Ils seront avertis dès que la date et le programme définitif seront fixés.

(1) Le manuscrit de cette Communication n'étant pas arrivé à temps, sera publié ultérieurement.

BIBLIOGRAPHIE.

Construction des induits à courant continu (Manuel du bobinier), par E.-J. BRUNSWICK et M. ALIAMET (*Encyclopédie scientifique des Aide-Mémoire*), 1 vol. in-8. Paris, Gauthier-Villars et Masson et C^{ie}.

Passant de la théorie des enroulements, exposée dans un précédent Volume de l'Encyclopédie, à la pratique de la construction des induits à courant continu, MM. Brunswick et Aliamet publient aujourd'hui le *Manuel du bobinier*, livre *vécu à l'atelier*, disent-ils, et cette affirmation donne la caractéristique de l'œuvre, et *destiné à servir de guide à tous ceux qui désirent connaître ou entreprendre des travaux de bobinage*, opérations qui, on le sait, sont de première importance en l'espèce.

Aussi, nombre de débutants et de praticiens intéressés à la construction des induits seront-ils aises de trouver dans ce Manuel les principes généraux actuellement observés dans les ateliers, tant pour pratiquer l'enroulement Gramme, opération sur laquelle se sont appesantis les auteurs, parce qu'elle est, malgré sa simplicité, l'une des plus difficiles à bien exécuter et qu'elle constitue un excellent exercice d'application, que pour construire les bobinages en tambour, rendus faciles d'ailleurs par les études préalables de l'ingénieur.

Les matières, développées d'après un programme défini, forment six Chapitres : matériaux isolants des armatures; formes diverses des conducteurs, guipages; bobinages avec exemples détaillés; bobinages en tambour ou exécutés sur gabarits; enfin, procédés de finissage et de vérification des induits pendant et après l'enroulement.

La force motrice de demain. Les piles à gaz et les accumulateurs légers, par M. A. BERTHIER, 2 vol. Paris, H. Desforges, 1905.

I. *Les piles à gaz; les accumulateurs légers au plomb et mixtes (plomb et autre métal)*. — Le premier Chapitre de cette première Partie d'un Ouvrage qui apporte sa part de collaboration à la solution d'un problème non encore résolu, s'occupe des piles à gaz, à électrodes inertes, au charbon et aux hydrocarbures.

Un second Chapitre traite des accumulateurs au plomb, dont il décrit les divers types légers, et des accumulateurs au zinc à propos desquels il cite les expériences de MM. O. Gabran et L. Nothomb.

II. *Les accumulateurs légers sans plomb et les accumulateurs alcalins*. — Dans cette seconde Partie, qui débute par quelques notions théoriques, l'auteur étudie plus spécialement les accumulateurs acides, salins et alcalins (zinc, cuivre, fer, magnésium, chrome, mercure, etc.) et consacre un Chapitre documenté à l'accumulateur Jungner-Edison, lequel constituerait pour l'automobilisme, malgré son prix élevé, un progrès notable sur l'emploi de l'accumulateur au plomb.

Ce progrès vers le poids léger de batteries électriques appliquées à la propulsion des véhicules est évidemment le but fort louable vers lequel tend l'Ouvrage de M. A. Berthier.

LISTE DES OUVRAGES

OFFERTS A LA SOCIÉTÉ INTERNATIONALE DES ÉLECTRICIENS.

(Suite.)

La Bibliothèque est ouverte aux Membres de la Société, tous les jours
de 2 heures à 5 heures, excepté les dimanches et jours de fêtes,
12, rue de Staël.

France.

Annuaire de l'Électricité et des industries électriques, 1902, par Camille ROUSSET. Paris, 114, rue et place Lafayette; un vol. in-8 relié toile. (*Don de l'auteur.*)

Annuaire pour l'an 1906, publié par le Bureau des Longitudes. Avec des Notices scientifiques. Paris, Gauthier-Villars, [s. d.], 1906; un vol. in-16 broché. (*Don de l'éditeur.*)

Cours de Mécanique élémentaire à l'usage des Écoles industrielles, par Ph. MOULAN. Deuxième édition revue et notablement augmentée, par C. GERDAY. Paris, Ch. Béranger, 1906; un vol. in-8, cartonné toile. (*Don de l'éditeur.*)

La législation des accidents du travail, par Louis GRILLET. Paris, Gauthier-Villars et Masson et C^{ie}, [s. d.], 1905; un vol. petit in-8 broché (*Encyclopédie scientifique des Aide-Mémoire*). (*Don de M. Gauthier-Villars.*)

Mécanique, Hydraulique, Thermodynamique, par Georges DARIËS. Deuxième édition entièrement remaniée et très augmentée. Paris, H. Dunod et E. Pinat, 1906; un vol. grand in-16 relié. (*Don des éditeurs.*)

Théorie des turbines. Hydraulique pratique, par le Dr Gustave ZIEGLER. Traduit de l'allemand par A. KREITMANN. Paris, Veuve Ch. Dunod, 1905; un vol. in-8 broché. (*Don de l'éditeur.*)

Étranger.

Université de Genève. Laboratoire de Physique. 1^{re} série (9^e, 10^e et 11^e fascicules). *Sur l'énergie dissipée sous forme de chaleur dans la paraffine*

soumise à un champ électrostatique tournant de fréquence élevée, par Ch.-Eug. GUYE et P. DENSO. — *La décharge disruptive dans les gaz aux pressions élevées*, par Ch.-Eug. GUYE et H. GUYE. — *Emploi du tube de Braun à l'étude des cycles d'aimantation aux fréquences élevées*, par Arthur SCHIDLOF. Genève, Société générale d'Imprimerie, 1905; 3 brochures in-8. (*Don de M. Ch.-Eug. Guye.*)



BULLETIN
DE LA
SOCIÉTÉ INTERNATIONALE
DES
ÉLECTRICIENS.

SOMMAIRE.

Admissions, p. 26. — Dons pour l'Ecole et le Laboratoire, p. 28. — L'éclairage électrique aux diverses fréquences (M. **Lauriol**), p. 29; *Observations* : (M. **Blondel**), p. 32; (**Brylinski**), p. 40. — Les rayons cathodiques dans le champ magnétique (M. **Villard**), p. 45. — Recherches récentes sur le mécanisme de la décharge disruptive (M. **Langevin**), p. 69.

BIBLIOGRAPHIE, p. 92.

OUVRAGES OFFERTS, p. 95.

COMPTE RENDU

DE LA

RÉUNION ORDINAIRE MENSUELLE

du mercredi 7 février 1906 ⁽¹⁾.

PRÉSIDENCE DE M. E. BOUTY.

La séance est ouverte à 8^h40^m du soir et le procès-verbal de la dernière Réunion mensuelle est adopté.

Il est donné connaissance des dons pour le Laboratoire et l'École, ainsi que des Ouvrages offerts à la Société (*voir* p. 95) et des demandes d'admission suivantes :

⁽¹⁾ La Société n'est pas solidaire des opinions émises par ses membres dans les discussions, ni responsable des Notes ou Mémoires publiés dans le *Bulletin*.

MM.

- Biles** (Prosper), Directeur de la *Compagnie centrale d'Éclairage et de Transport de force par l'Électricité*, à Limoges. — Présenté par MM. Blondel et Robard.
- Bion** (Eugène-Louis-Joseph), Enseigne de Vaisseau, 8, rue Coëtlogon, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Bloch-Sée** (Alfred-Henri-François), Élève à l'*École supérieure d'Électricité*, 27, rue Saint-Georges, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Boreau** (Gabriel), Ingénieur de la *Maison Bréguet* (diplômé de l'*École de Physique et de Chimie*), 15, rue des Plantes, à Paris. — Présenté par MM. Boucherot et Brunswick.
- Caussin de Perceval** (Marie-Albert), Ingénieur des Ponts et Chaussées, 10, rue Jean-Baptiste Dumas, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Chabot** (Louis), Élève à l'*École supérieure d'Électricité*, 3, rue Nicolas-Charlet. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Derville** (Victor), Ingénieur E.-C.-P., Élève à l'*École supérieure d'Électricité*, 92, boulevard du Port-Royal, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Fabre** (Henri), Élève à l'*École supérieure d'Électricité*, 8, rue François I^{er}, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Feye** (René), Élève à l'*École supérieure d'Électricité*, 9, avenue Duquesne, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Foulhouze** (A.), Ingénieur-Électricien (I.-E.-G.) à la *Société anonyme Westinghouse*, 38 bis, rue Casimier-Périer, au Havre. — Présenté par MM. E. Sartiaux et Luszczkiewicz.
- Fr ôlich** (Raoul), Élève à l'*École supérieure d'Électricité*, 85 bis, rue du Ranelagh, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Gajan** (Eugène-Henri-Louis), Enseigne de Vaisseau, Élève à l'*École supérieure d'Électricité*, 48, rue Gay-Lussac, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Gatin** (Germain), Élève à l'*École supérieure d'Électricité*, 124, rue de Rennes, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Goisot** (Georges-André-Félix), Constructeur-Électricien, 10, rue Béliador, à Paris. — Présenté par MM. Bouty et Armagnat.
- Guichard** (Marcel), Ingénieur de la *Société Mors : Service de la Télégraphie sans fil, système Rochefort*, 32, rue George-Sand, à Paris. — Présenté par MM. de Rochefort et G. Marie.
- Héлитas** (Gilbert-Henri), Élève à l'*École supérieure d'Électricité*, Professeur de Mathématiques, 18, rue Alain-Chartier, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Hissine** (Jack), Ingénieur en chef à la *Bergmann Elektrizitäts Werke Actien Gesellschaft*, Hansa-Ufer, 8, à Berlin N. W. (Allemagne). — Présenté par MM. Maurice Leblanc et Rateau.
- Jacobsen** (Jac-Herman), Élève à l'*École supérieure d'Électricité*, 7, rue Mayran, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Jacobsfeld** (Samuel), Élève de l'*École supérieure d'Électricité*, 14, boulevard Pasteur, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Jean-Joseph** (Auguste), Élève à l'*École supérieure d'Électricité*, 10, avenue de Messine, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.

MM.

Jégou (Paul-François-Louis-Marie), Élève à l'*École supérieure d'Électricité*, 12, rue du Lycée, à Saint-Brieuc. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.

Legoupil (Paul), Élève à l'*École supérieure d'Électricité*, 124, rue de Rennes, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.

Mainguenaud (Pierre-Jean-Claude), Capitaine d'Artillerie à la *Manufacture nationale d'Armes de Saint-Étienne*, à Saint-Étienne (Loire). — Présenté par MM. Janet et Lesueur.

Manescau (Louis), Élève à l'*École supérieure d'Électricité*, 26, avenue de Tourville, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.

Neufeld (Ladislas), Élève à l'*École supérieure d'Électricité*, Licencié ès Sciences mathématiques, 18, rue Ernest-Renan, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.

Nicolas (Pierre-Adolphe-Louis), Licencié ès Sciences, Élève à l'*École supérieure d'Électricité*, 31, rue de la Paroisse, à Versailles. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.

Perret (Joseph), Ingénieur-Électricien, 6, avenue de la Paix, à Meudon. — Présenté par MM. Kriéger et Mazen.

Pistoye (Henri-Sigismond-Alphonse-Louis-Marie de), Élève à l'*École supérieure d'Électricité*, Ingénieur E.-C.-P., 9, rue de Sontay, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.

Polack (Raoul), Élève à l'*École supérieure d'Électricité*, 5, rue Francisque-Sarcey, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.

Priluker (Jacob), Élève de l'*École supérieure d'Électricité*, 14, boulevard Pasteur, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.

Rolland (Edmond-Eugène), Élève à l'*École supérieure d'Électricité*, 212, avenue de Bry, au Perreux. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.

Schombourger (Lucien-Nicolas-Constantin), Élève à l'*École supérieure d'Électricité*, 14, rue du Mont-Thabor, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.

Steynis (Jan), Ingénieur, *United Water Improvement Co*, 28, rue Bertrand, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.

Viry (Pierre), Capitaine d'Artillerie, 33, boulevard de Versailles, à Suresnes. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.

Ziemkiewicz (Ladislas-Stanislas-Constantin de), Capitaine du Génie à l'*Établissement central du Matériel de la Télégraphie militaire*, 32, avenue Félix-Faure, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.

Ces candidats sont élus membres titulaires de la Société internationale des Électriciens.

M. le PRÉSIDENT communique la décision suivante, prise par le Comité d'Administration, en exécution de laquelle l'emprunt contracté pour les besoins de l'École supérieure va se trouver, par anticipation, intégralement remboursé. Il est heureux d'annoncer

cé résultat dû à la bonne gestion des finances de la Société, ce dont il convient de féliciter M. le Trésorier :

« Conformément aux décisions qu'il a prises dans sa séance du 8 décembre 1897, relativement à l'amortissement de l'emprunt de 60 000 fr, émis par la Société internationale des Électriciens, le Comité d'Administration décide qu'une somme de 17 000 fr sera prélevée sur les fonds disponibles au compte de l'exercice 1905 pour servir au remboursement des 170 titres suivants restant à amortir.

8	78	146	226	303	370	458	521
12	79	152	232	304	374	464	523
14	81	154	234	307	380	465	527
15	86	157	236	310	383	468	533
16	94	162	238	315	390	470	539
20	100	168	241	316	391	472	544
21	102	172	246	317	397	473	549
33	105	175	252	318	404	479	551
34	107	176	253	319	406	480	555
37	113	178	257	325	407	482	559
38	116	179	259	342	413	492	560
40	121	190	263	344	414	493	568
43	123	191	265	345	426	499	584
54	124	192	269	347	427	500	591
56	126	197	271	352	429	503	592
59	128	198	278	356	431	506	593
60	131	204	280	357	434	507	
62	132	211	285	362	435	511	
65	133	212	287	363	441	512	
68	135	213	290	364	447	515	
72	138	218	293	366	450	516	
73	145	220	294	367	451	519	

» Ces titres seront remboursés au pair, au siège social, 14, rue de Staël, à partir du 1^{er} avril prochain. »

Des remerciements sont adressés aux auteurs des dons ci-après :

I. Laboratoire.

M. J. RICHARD..... Remplacement de sept appareils de tableau par des appareils de modèle nouveau. Voltmètres et ampèremètres.

II. École.

COMPAGNIE FRANÇAISE OERLIKON... Une poulie.

L'ordre du jour appelle les Communications techniques.

L'ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE AUX DIVERSES FRÉQUENCES.

M. LAURIOL. — « La Communication que j'ai à vous faire est de bien mince importance, et j'aurai peu à dire qui ne soit connu de vous, surtout depuis les études de M. Léonard et de M. Janet. Si je prends la parole c'est à la demande de la deuxième Section de votre Comité, qui a cru intéressant de fixer les idées peut-être un peu éparses sur la question; elle a cru aussi que cette Communication pourrait amorcer une discussion sur la fréquence ou les fréquences à adopter dans les grands réseaux de distribution; si j'examine l'influence de la fréquence sur l'éclairage, nos collègues plus spécialement compétents pourront examiner son influence sur la transmission de la force motrice, et sur la transformation du courant alternatif en courant continu.

» L'usine municipale des Halles possède un transformateur tournant pouvant donner des fréquences variables. Les expériences ont été faites avec diverses lampes et avec des fréquences de 25, 33, 40 et 50. Le Secteur alternatif municipal donne en outre la fréquence 88. Les expériences ont été faites : par l'observation directe des lampes; par l'observation des objets éclairés, mobiles ou immobiles; enfin par l'observation d'un disque à secteurs noirs et blancs éclairé par les lampes et tournant en synchronisme.

» La fréquence 88 donne, avec toutes les lampes, un éclairage parfaitement fixe; mais son emploi est condamné pour des raisons d'ordre électrique.

» La lampe à incandescence en carbone de 5 bougies—110 volts donne, à la fréquence 25, un papillotement sensible pour un œil exercé, mais qui peut passer inaperçu pour d'autres, et en tout cas ne paraît pas gênant; une expérience plus prolongée permettrait seule de dire si, à la longue, le travail du bureau ne serait pas fatigant avec cet éclairage. Je dois ajouter que j'ai pu observer sur le réseau du Nord-Lumière, triphasé, fréquence 25, des lampes de 5 bougies—110 volts, ne donnant aucun papillotement sensible; il m'a été impossible de trouver le motif de cette discordance avec les résultats observés aux Halles.

» A la fréquence 33 et au-dessus, les mêmes lampes ne donnent pas de papillotement.

» Les lampes en carbone de 10 bougies et au-dessus (pour 110 volts) ne donnent pas de papillotement, même à la fréquence 25, pas plus que les lampes en osmium (16 bougies — 39 volts — 0,6 ampère) et les lampes Nernst.

» La lampe en tantale se comporte très sensiblement comme les lampes en carbone de 5 bougies — 110 volts. Cette lampe, relativement peu sensible aux variations permanentes de tension, est relativement très sensible aux variations rapides qui se produisent au cours de chaque alternance. Pour parler au figuré, elle se comporte comme un corps de petite masse attaché à un ressort puissant; un pareil corps serait peu sensible à des variations prolongées de l'effort de traction, mais obéirait très vite à des variations rapides. La lampe en carbone de 10 bougies — 110 volts, assimilable à un corps de masse plus grande, attaché à un ressort plus faible, serait plus sensible aux variations permanentes de l'effort de traction, mais obéirait moins vite aux variations rapides.

» *A priori* on aurait pu s'attendre à voir la lampe en tantale et la lampe en osmium, dont les filaments sont de nature analogue, se comporter de façon analogue. Mais il faut remarquer que les intensités lumineuses, pour une tension donnée, sont fort différentes. La lampe en tantale est de 25 bougies — 110 volts. La lampe en osmium est de 16 bougies — 39 volts; un filament de même section, assez long pour absorber 110 volts, donnerait 45 bougies. Il est donc tout naturel de voir entre ces deux lampes les mêmes différences qu'on observe entre deux lampes en carbone de même tension et d'intensités lumineuses différentes.

» Du reste l'emploi de la lampe en tantale n'est pas recommandé pour le courant alternatif. Sa durée est faible; vraisemblablement parce qu'elle s'échauffe plus qu'une autre pendant les survoltages instantanés qui se produisent aux environs des sommets de chaque demi-onde.

» Comme lampes à arc, nous en avons essayé trois : 1° lampe ordinaire, charbons de 16 mm à mèche et de 15 mm homogène; 2° lampe Auer-Blondel, charbons de 11 mm et 13 mm minéralisés; 3° lampe à trois charbons pour courants triphasés; charbons trian-

gulaires de 12 mm de côté, minéralisés, disposés suivant les arêtes d'une pyramide triangulaire à axe vertical. Toutes ces lampes absorbaient environ 14 ampères et 33 volts; elles étaient branchées isolément sur un circuit à 110 volts, le surplus de la tension étant absorbé par une résistance ohmique.

» A la fréquence 25 on observe un papillotement qui rend l'éclairage difficilement supportable. La lampe Auer-Blondel, sans être acceptable à cette fréquence, présente cependant bien moins de papillotement que la lampe à charbons ordinaires. La lampe à trois charbons devrait théoriquement donner un effet comparable à celui d'une lampe monophasée à la fréquence $3 \times 25 = 75$. Je dis *effet comparable* et non *effet semblable*; car, si la fréquence des pulsations lumineuses est triplée, la loi du refroidissement et de l'échauffement des charbons est fort différente de ce qu'elle serait pour un arc monophasé de fréquence 75; l'amplitude des pulsations lumineuses reste par suite différente. En pratique on n'observe pas d'amélioration sensible sur la lampe à trois charbons par rapport à la lampe monophasée Auer-Blondel.

» Les mêmes effets, quoique atténués, se produisent à la fréquence 33. L'éclairage n'est pas encore acceptable.

» A la fréquence 40 le papillotement devient très léger. C'est la limite acceptable pour un éclairage de voie publique, de grands halls, etc.; mais le travail de bureau serait peut-être fatigant s'il se prolongeait longtemps.

» A la fréquence 50 on trouve encore une amélioration; mais on n'a pas encore l'impression d'une fixité absolument satisfaisante. Pour le travail de bureau on peut conserver encore quelques doutes.

» Je dois ajouter avoir vu récemment fonctionner sur le réseau du Nord-Lumière des lampes à arcs monophasées à la fréquence 25, sur lesquelles je n'ai pu encore avoir que peu de renseignements; ces lampes produisent une lumière légèrement jaune comme la plupart des lampes à charbons minéralisés. Elles donnent un très léger papillotement, analogue à celui qu'on observe couramment sur les lampes ordinaires à la fréquence 40. La lampe à arc paraît donc susceptible de progrès importants sous le rapport de la fixité avec des fréquences de plus en plus basses. Nous ne pouvons qu'encourager les constructeurs dans cette voie.

» En terminant je dirai deux mots d'expériences qui viennent d'être commencées au laboratoire des Halles par MM. Girard et Magnol pour mesurer les variations de l'intensité lumineuse pendant une période. Ces expériences étant à leurs débuts, je ne puis donner les résultats qu'à titre provisoire.

» Entre la lampe et le photomètre est placé un disque opaque percé d'une fenêtre vers la périphérie. Le disque tourne autour d'un axe perpendiculaire à son plan et est mû par un moteur synchrone. La lampe est ainsi démasquée constamment à un même moment de la période. On fait varier ce moment en faisant tourner à la main le stator du moteur. On trouve ainsi que l'intensité lumineuse instantanée des lampes à incandescence varie suivant une fonction grossièrement sinusoïdale du temps, et que l'irrégularité, c'est-à-dire le rapport $\frac{\text{maximum} - \text{minimum}}{\text{maximum} + \text{minimum}}$, est (en centièmes) donné

. 2

par le Tableau ci-après :

		Fréquence	
		25.	50.
Carbone	5 bougies—110 volts.....	53	32
—	10 — —110 —	20	11
—	32 — —110 —	15	9
Tantalo	25 — —110 —	37	19
Osmium	16 — —39 —	17	12
Nernst	0,25 ampère—110 —	12	non mesurée

» L'augmentation de fréquence agit donc de deux façons pour diminuer l'impression produite sur l'œil par les pulsations lumineuses : 1° en augmentant leur rapidité; 2° en diminuant leur amplitude. L'expérience montre que, pour une lampe donnée, les variations relatives de la fréquence et de l'irrégularité sont du même ordre de grandeur. »

M. BLONDEL. — « On doit chercher à tirer, croyons-nous, des expériences très intéressantes de M. Lauriol des conséquences pratiques pour le choix de la fréquence la plus favorable dans différentes installations. Tel a été l'objet de la discussion qui a eu lieu devant la deuxième Section à laquelle s'étaient adjoints, pour la circonstance, quelques constructeurs.

» On sait qu'actuellement on tend à établir des fréquences-types peu nombreuses, dont la plus répandue est la fréquence 50. La fréquence 25 se rencontre dans les entreprises de traction. Les raisons qui ont conduit la Société Thomson-Houston à adopter en France, dans plusieurs grandes installations d'objet plus général, notamment sur le littoral méditerranéen, la fréquence de 25 périodes, se réduisent, d'après M. de Marchena, justement au désir d'utiliser des commutatrices pour la transformation des courants triphasés en courants continus de 600 volts et au-dessus, pour les entreprises de traction; les installations d'éclairage de la même région ont adopté ensuite, par force, la même fréquence, tandis que, si elles avaient été seules en cause, on aurait préféré probablement 50 périodes.

» La fréquence de 25 n'a pas donné lieu, jusqu'ici, à des inconvénients sensibles pour l'éclairage, parce que, dans les villes telles que Nice, la distribution secondaire se fait principalement en courant continu, et que les autres localités ont employé jusqu'à présent des lampes à incandescence à filaments de carbone et presque aucune lampe à arc (une douzaine seulement d'arcs triphasés de Vigreux et Brillé). De même, on constate aux États-Unis, où un grand nombre de distributions sont faites dans les mêmes conditions (par exemple à Buffalo) que beaucoup de consommateurs d'éclairage par incandescence se font desservir par le réseau à 25 périodes de préférence au réseau continu, pour profiter de l'économie du prix de vente, et sans se plaindre de la lumière ainsi obtenue. Même aux environs de Paris, plusieurs localités, telles qu'Enghien, sont actuellement satisfaites, paraît-il, de l'éclairage à incandescence à 25 périodes obtenu au moyen du courant triphasé d'Asnières.

» Mais cette solution reste imparfaite aux points de vue de l'emploi des lampes à arc, des incandescences de faible ampérage (5 bougies) et de la distribution sous 220 volts; avant de la généraliser, il y a donc lieu d'examiner comparativement les autres avantages des distributions à 25 et à 50 périodes, ou à des fréquences intermédiaires, en tenant compte de toutes les conditions du problème :

» *Production de l'énergie.* — Les alternateurs à la fréquence 25 paraissent plus lourds en général, et par conséquent plus chers (en-

viron 8 à 15 pour 100) que les alternateurs à 50 périodes, par suite de la plus grande section de fer qu'ils exigent, et ils donnent lieu à une chute de tension plus forte (1).

» Il semble donc que, contrairement aux idées qui prévalaient au temps de la construction de l'usine du Niagara, une fréquence élevée soit désirable pour les génératrices.

» Mais il y a tendance à ne pas se préoccuper autant qu'autrefois de la chute de voltage intérieur des machines et beaucoup d'ingénieurs, notamment MM. Labour et de Marchena, considèrent plutôt comme avantageuse, au point de vue de la sécurité d'exploitation, la réduction du courant de court-circuit; d'autre part, on peut compenser la réaction d'induit par des dispositifs automatiques de réglage de l'excitation.

» *Lignes de transmission.* — Au contraire, pour les lignes de transmission, les fréquences basses sont les plus avantageuses, non seulement parce qu'elles évitent les effets de concentration superficielle du courant (qui ne sont guère à craindre avec des fils câblés dans

(1) Le pas d'un pôle est deux fois plus grand pour 25 périodes que pour 50; en admettant une même induction dans l'entrefer, le flux total par pôle sera doublé; le nombre d'ampères-conducteurs par centimètre de l'induit sera conservé; ce qui permet d'obtenir la même force électromotrice qu'à 50 périodes quand les spires de deux pôles voisins sont connectées en série. Malgré la possibilité d'augmenter les inductions, le fer doit donc être augmenté. On peut, il est vrai, trouver une compensation dans la réduction de cuivre bobiné sur les inducteurs; mais la réaction d'induit relative, pour une même intensité de courant induit, c'est-à-dire le rapport du nombre des contre-ampères-tours induits aux ampères-tours inducteurs par pôle, si ceux-ci ne sont pas modifiés, se trouve sensiblement doublée; l'alternateur est donc moins bon au point de vue de l'autorégulation.

On ne peut retrouver la même chute de tension relative qu'en augmentant l'entrefer et les ampères-tours inducteurs; le poids de cuivre sur l'inducteur redevient alors du même ordre que dans la machine à 50 périodes.

Il y a une catégorie de machines pour laquelle cet inconvénient est particulièrement sensible, ce sont les turbines à vapeur à enroulement réparti. Dans celles-ci, par suite de la disposition du bobinage réparti sur le rotor, le coefficient de réaction de l'induit peut être obtenu sensiblement le même à 25 et à 50 périodes, puisque l'accroissement du pas polaire augmente dans la même proportion les ampères-tours induits et les ampères-tours inducteurs logeables. Mais la masse de fer du stator croît avec l'abaissement de fréquence et d'autant plus que la machine comporte moins de pôles; il est défavorable, par exemple, de remplacer une machine à quatre pôles de 50 périodes par une machine à deux pôles de 25 périodes.

les limites de fréquence employée), mais surtout parce qu'elles réduisent les effets de self-induction et de capacité dans les longues lignes. Les effets de self-induction deviennent importants en général dans les lignes aériennes de haute tension qui dépassent 100 km, et d'autant plus que la tension est plus élevée, parce que les conducteurs sont d'autant plus écartés les uns des autres. Les effets de capacité sont, au contraire, prépondérants dans les câbles souterrains et d'autant plus importants que les distances entre conducteurs sont plus faibles; ils peuvent devenir gênants si les courants de charge prennent une importance excessive par rapport aux courants de travail; aussi ne peut-on songer à employer des canalisations souterraines pour des transmissions à grande distance, aux fréquences usuelles.

» Toute diminution de la fréquence réduit les forces électromotrices d'induction et les courants de charge. Il y a donc intérêt, pour les transmissions aériennes qui dépassent par exemple 100 km et pour les transmissions souterraines qui dépassent par exemple 10 km, à choisir 25 à 33 périodes au lieu de 50 pour améliorer les conditions de réglage de la ligne, toutes les fois que celle-ci devra distribuer de l'énergie tout le long de son parcours; une augmentation de la fréquence entraînera généralement la nécessité soit d'augmenter le cuivre, soit de subdiviser davantage les lignes.

» *Moteurs-récepteurs.* — La question des moteurs-récepteurs se présente à peu près comme celle des génératrices, en ce sens qu'une augmentation du pas polaire force à augmenter les quantités de fer du stator et du rotor, mais dans une proportion moindre, à cause de la saturation plus faible généralement admise dans les moteurs.

» En outre, l'amélioration des qualités du moteur par la réduction des fuites magnétiques, résultant de l'emploi d'un plus grand nombre d'encoques par pôle, est plus importante que dans les génératrices, car elle se traduit par une augmentation importante du couple moteur maximum, réalisable avec un certain nombre total d'ampères-conducteurs. Il en résulte qu'il n'y a pas, semble-t-il, une grande différence entre les poids et les prix des moteurs à 25, 33 ou 50 périodes, quand on choisit convenablement les vitesses

de rotation. Par exemple, les moteurs Brown-Boveri à 25 périodes coûtent 10 pour 100 plus cher que ceux de 50.

» *Transformateurs.* — Au contraire, les transformateurs pour 50 périodes présentent une supériorité considérable sur les transformateurs à 25 périodes. Beaucoup de constructeurs, comme l'a signalé M. de Marchena, réduisent la différence des prix à 10 ou 20 pour 100 seulement, en admettant des chutes de tension plus fortes, avec des rendements moindres dans les transformateurs à 25 périodes que dans ceux à 50, sans doute afin de ne pas décourager les créateurs des installations à 25 périodes. Mais si l'on a soin, comme l'a fait par exemple M. Labour, dont on connaît la haute compétence en matière de transformateurs, d'établir une comparaison dans des conditions rigoureusement identiques, c'est-à-dire en réalisant l'égalité de rendement, de dépense à vide et de chute de tension en charge, on est obligé de proportionner d'une manière tout à fait différente les deux espèces de transformateurs, en augmentant beaucoup la carcasse de fer dans le cas de 25 périodes, ce qui a pour inconvénient de faire disparaître la possibilité de réaliser un avantage économique par l'immersion et le refroidissement artificiel.

» C'est ainsi que M. Labour obtient les prix suivants pour des transformateurs de 205 kilovolts-ampères donnant un rendement de 98,4 pour 100, une dépense à vide de 0,8 pour 100 et une chute de tension de 1 pour 100 à $\cos \varphi = 1$ et de 3 pour 100 à $\cos \varphi = 0,80$:

	25 périodes.	50 périodes.
Transformateur monophasé à sec.....	58,50 fr	46,20 fr
— — immergé...	»	35,80 fr
	25 périodes.	50 périodes.
Transformateur triphasé à sec.....	54,00 fr	38,80 fr
— — immergé.....	»	30,00 fr

» De même, les transformateurs de la Maison Brown-Boveri pour 25 périodes n'ont, à prix égal, qu'une puissance égale à 70 pour 100 de celle des transformateurs pour 50 périodes.

» On voit combien les frais peuvent être plus élevés, pour des conditions identiques, dans le cas de 25 périodes que dans celui de 50; certaines sociétés allemandes estiment même que les nou-

velles tôles qu'elles emploient en vue d'obtenir des pertes minima par hystérésis se prêtent mal aux inductions élevées convenant à la fréquence 25, parce qu'elles ont une moins bonne perméabilité que les tôles anciennes (1).

» La fréquence 33 ~ donne lieu à des chiffres intermédiaires, et réduit par suite notablement les inconvénients des basses fréquences.

» *Commutatrices.* — Comme on l'a rappelé plus haut, les commutatrices fonctionnent mieux à 25 périodes qu'à 50 et sont plus faciles à construire pour les tensions élevées dépassant 500 volts, employées pour la traction électrique; aux tensions moindres (220 ou 110 volts) qui suffisent pour l'éclairage, les commutatrices à 50 périodes sont beaucoup plus faciles à construire, mais n'ont pas eu beaucoup de succès jusqu'à présent, par suite des irrégularités de vitesse des machines génératrices mues par moteurs à mouvement alternatif; par exemple, à Berlin, il paraît que les désynchronisations sont assez fréquentes. La Commission du Régime futur de l'électricité à Paris a cru, de son côté, devoir écarter les commutatrices à 50 périodes au profit des moteurs-générateurs. Mais il semble qu'à des fréquences de 33 ~ à 40 ~, surtout avec des réseaux alimentés par des turbo-alternateurs, le bon fonctionnement de commutatrices pour l'éclairage soit assuré; seul le réglage de voltage présente quelques sujétions délicates.

» *Moteurs à collecteur.* — Les moteurs à collecteur, dont on préconise beaucoup depuis 3 ans l'emploi pour la traction par courant alternatif monophasé, peuvent être employés facilement sur les réseaux triphasés, et d'autant mieux que la fréquence est plus

(1) Pour certaines transmissions très longues, par exemple au delà de 150 km avec ligne aérienne, il peut y avoir une certaine compensation entre l'augmentation du prix de la ligne et la diminution du prix des transformateurs quand on augmente la fréquence; pour une ligne très longue avec utilisation au bout, la basse fréquence peut se trouver nécessaire, tandis que pour une ligne courte la fréquence plus élevée a certainement l'avantage.

Nous ne pouvons naturellement entrer ici dans un examen détaillé de cette comparaison, mais nous en signalons l'intérêt.

basse. On sait qu'après avoir préconisé une fréquence de 16 périodes, les inventeurs des nouveaux moteurs recommandent maintenant la fréquence 25, à laquelle le fonctionnement est satisfaisant; bien qu'on déclare pouvoir réaliser aussi de bons moteurs du type compensé à 50 périodes, et que certains de ces appareils soient déjà en service sur des réseaux à 42 périodes, notamment aux chemins de fer d'intérêt local du Borinage, il paraît désirable, au point de vue de la conservation du collecteur, de ne pas dépasser la fréquence de 35 périodes.

» *Conclusions en ce qui concerne les distributions régionales.* — Cette catégorie de réseaux, qui se développe en Angleterre et qui est encore peu considérable en France, est particulièrement intéressante à cause des grands débouchés qu'elle peut offrir à l'industrie électrique; le rôle principal de semblables réseaux doit être d'assurer la traction économique de longues lignes de tramways à faible trafic au moyen de moteurs alternatifs, alimentés directement à haute tension par des canalisations qui ne sont pas sensiblement plus compliquées ni plus chères que celle des tramways à courant continu à fil aérien. Autour d'un tel réseau de chemin de fer d'intérêt local à traction électrique se grouperont forcément les distributions locales d'éclairage et de force motrice, alimentées par la même usine. Il y a donc un très grand intérêt à déterminer la meilleure fréquence à préconiser pour de semblables réseaux, en tenant compte des résultats des expériences de M. Lauriol. Celles-ci conduisent à désirer que la fréquence soit élevée au delà de 25 pour permettre l'emploi complètement satisfaisant des lampes à filament de charbon de petite intensité, surtout sur des réseaux secondaires économiques à 220 volts. La fréquence 33 est particulièrement indiquée parce qu'elle permet de transformer facilement, au moyen de machines rotatives, cette fréquence en une des fréquences usuelles de 25 ou 50 périodes, même s'il s'agit de petites puissances à transformer (grâce au fait que les nombres des pôles sont dans la proportion 4 : 6 : 8). La fréquence 40 ne se prête qu'à des unités transformatrices plus grosses.

» Dans ces conditions, on doit actuellement renoncer à l'alimentation directe des lampes à arc; mais celles-ci sont peu répan-

dues jusqu'à présent dans les petites villes et *a fortiori* dans les villages. Si le même grand réseau doit alimenter en même temps une ville un peu importante, on sera généralement conduit, pour assurer la régularité du voltage et la sécurité de l'exploitation, à installer une sous-station commutatrice produisant du courant continu, ce qui résout par le fait même le problème des lampes à arc; même à ce point de vue, la fréquence 33 est avantageuse; comme elle est plus économique au point de vue des transformateurs, elle doit être considérée, croyons-nous, comme la plus désirable pour les distributions régionales à créer.

» *Conclusions en ce qui concerne les grandes distributions urbaines.*

— Si l'on se préoccupe avant tout d'assurer l'éclairage direct par incandescence et par arcs dans une partie du périmètre, il faut préconiser une fréquence élevée, 50 périodes ou au-dessus; car, toute fréquence inférieure, même celle de 40 actuellement employée, nuit au parfait fonctionnement des arcs, d'après M. Lauriol.

» Mais l'emploi de cette fréquence est beaucoup plus discutable si l'on s'impose, pour le service des quartiers centraux, de transformer en courant continu la plus grande partie de l'énergie, car on est ainsi conduit à l'emploi des moteurs-générateurs, qui entraînent une perte d'énergie supplémentaire moyenne d'au moins 10 pour 100 par rapport à celle des commutatrices qu'on pourrait employer à 25 ou 33 périodes et, en outre, la nécessité d'augmenter d'autant la section des câbles et les installations génératrices.

» On pourrait donc trouver plus avantageux, à certains égards, d'inverser le problème en employant uniquement le courant à 25 périodes et en transformant une partie de l'énergie en courant continu par des commutatrices (complétées au besoin par des groupes survolteurs), et l'autre partie en courant alternatif de fréquence 50 pour l'éclairage des faubourgs. L'expérience de Buffalo montre que le courant à 25 périodes pourrait être employé, du moins en partie, pour l'éclairage si le tarif est plus réduit pour ce genre de courant. Cette solution à 25 $\sim$ est la plus indiquée si les mêmes usines génératrices doivent servir pour l'alimentation des sous-stations de traction existantes. Dans le cas contraire, on trouvera encore avantage à préférer la fréquence 33. parce qu'elle

permet de fournir, sans transformation, tout le courant nécessaire à l'éclairage par incandescence des faubourgs; quelques câbles de petite section, destinés à l'usage des arcs et des moteurs d'ascenseurs dans les avenues principales de la périphérie, seraient seuls alimentés en courant continu par quelques transformateurs de fréquence. En tout cas, le nombre des arcs est trop faible relativement pour justifier à lui seul le choix d'une distribution.

» Bien plus, comme la fréquence 33 diminue beaucoup les effets d'impédance et de capacité des câbles, ces effets ne peuvent jamais être très considérables par suite des distances limitées de transport, et de la section limitée également qu'on est forcé de donner aux feeders établis pour la tension de 10000 ou 15000 volts (ces câbles deviennent trop raides pour la pose si l'on dépasse 150 mm² par âme). Si l'on cherche avant tout la simplicité de l'exploitation et le bas prix de l'énergie distribuée, une distribution *unique* à 33 périodes paraît donc être la meilleure solution, et peut-être même à 25 périodes, si l'on a comme objectif d'alimenter, par la même usine, des installations de traction à 25 ~ existantes.

» Bien que les prix moins élevés des transformateurs créent un avantage en faveur d'une distribution à 50 ~, la simplification d'exploitation et la réduction des chutes de tension du réseau qui résulteraient de l'emploi uniforme d'une seule fréquence mériteront d'être prises en sérieuse considération. Quant aux fréquences de 40 et 42 périodes, elles ne paraissent plus présenter d'intérêt pratique, car elles ne donnent pas de bons arcs et n'améliorent pas d'une manière sensible les conditions de la distribution.

» En définitive, pour toutes les installations *nouvelles* les fréquences types devraient être non pas 25 et 50 comme on l'admet aujourd'hui, mais 33 et 50. Il y a déjà, du reste, aux États-Unis quelques exemples d'installations à 33 ~.

» Je serais heureux si ces quelques conclusions, qui paraîtront peut-être trop absolues, peuvent décider ceux de nos collègues qui sont intéressés dans les exploitations électriques, à les discuter et à faire ainsi profiter de leur expérience les initiateurs des entreprises futures. »

M. BRYLINSKI. — « Je désire, Messieurs, vous exposer très briève-

ment pour quels motifs la substitution de la fréquence 33 à la fréquence 25, proposée par M. Blondel, ne me paraît pas désirable.

» Les arguments de M. Blondel peuvent, à ce qu'il me semble, être résumés de la manière suivante :

» 1° L'éclairage à incandescence n'est pas suffisant à 25 périodes et ne devient bon qu'à partir de 33.

» 2° L'éclairage par arcs ne peut pas être bon à 25 périodes, ni peut-être à 33; mais il sera, le cas échéant, plus facile de le rendre supportable pour 33 périodes que pour 25.

» 3° Les transformateurs sont sensiblement équivalents dans les deux systèmes, quoique légèrement moins coûteux peut-être pour 33 périodes que pour 25 périodes.

» 4° Pour la traction, la fréquence 25 est nettement supérieure à la fréquence 33, et, dans certains cas, seule admissible.

» Examinons d'abord la question au point de vue purement spéculatif.

» L'avis de M. Blondel au sujet de l'incandescence est basé sur les essais effectués en laboratoire par M. Lauriol. Ces essais ont certainement été faits avec le plus grand soin, et leur valeur est absolument hors de cause; mais le criterium d'une exploitation industrielle ne réside pas dans des expériences de laboratoire; il se trouve dans le fonctionnement même de l'exploitation.

» Or, nous avons, dans la banlieue, plus de 15000 lampes à incandescence de tous calibres, alimentées par du courant alternatif à 25 périodes et dont le fonctionnement donne la plus entière satisfaction. M. Lauriol a bien voulu venir se rendre compte de ce fait par lui-même, et vous en a apporté le témoignage.

» Quelle est la raison exacte de ce phénomène? Je l'ignore comme M. Lauriol. La forme de la courbe peut être en jeu; on admet généralement que les transformateurs, même alimentés au primaire par une courbe très purement sinusoïdale, ont, au secondaire, un troisième harmonique marqué. Ce troisième harmonique serait de la fréquence 75 et, par conséquent, de nature à augmenter beaucoup la stabilité de la lumière.

» Mais, quel que soit le motif réel, le fait matériel subsiste que

l'éclairage par incandescence à 25 périodes est, dans la pratique, pleinement satisfaisant, et qu'il n'y a, par conséquent, nul besoin de l'améliorer par une modification de fréquence.

» M. Blondel a bien fait observer que les lampes à 220 volts se trouveraient dans des conditions moins bonnes que celles à 110 volts, mais il ne me semble pas que cette considération doive nous retenir longtemps.

» Si, en effet, la distribution en courant continu, à 220 volts aux lampes, présente suffisamment d'avantages pour avoir été largement appliquée, elle présente aussi des inconvénients que la Commission technique, nommée par M. le Préfet de la Seine, a jugés suffisants pour l'écarter complètement. *A fortiori*, y a-t-il lieu de l'écarter pour du courant alternatif, où les inconvénients subsistent, mais où les difficultés que l'on rencontre en courant continu pour donner du 110 volts aux lampes disparaissent complètement en raison de la facilité qu'on possède d'installer des postes de transformateurs partout où cela est nécessaire. On a d'ailleurs, au point de vue des pertes en ligne, l'équivalent du 2×110 continu dans le système triphasé à fil neutre qui permet de distribuer du 115 volts aux abonnés avec 200 volts en réseau.

» Pour ce qui concerne les arcs, M. Lauriol a vu des arcs à 25 périodes ne papillotant pas plus que les arcs ordinaires à 42 périodes. Il ne s'agit pas là d'arcs à trois charbons, d'installation plus ou moins compliquée, mais bien d'arcs monophasés ordinaires, en série par trois sur 115 volts. Les progrès considérables dont cette installation est la constatation matérielle donnent bon espoir qu'on arrivera prochainement à un résultat satisfaisant de tous points.

» La question du prix des transformateurs n'a pas d'importance réelle dans le problème actuel. La différence du prix entre 25 et 33 périodes est peu importante, et, par contre, il semble bien que les moteurs, et surtout les petits moteurs, s'accommodent mieux de la fréquence 25 que d'une fréquence plus élevée, ce qui fait compensation.

» Le point de vue de la traction est complètement en faveur des 25 périodes actuellement admises.

» En résumé, si nous nous en tenons au point de vue purement spéculatif, il n'y a pas de raisons valables pour modifier la fréquence

de 25 périodes, et la seule considération un peu décisive, celle de la traction, est en faveur de son maintien.

» Si nous quittons maintenant ce qu'on a appelé l'hypothèse de la *table rase* pour passer dans le domaine des faits, nous trouvons, en faveur des 25 périodes, deux arguments qui me paraissent très forts :

» Le premier est qu'il *existe* actuellement, dans l'intérieur ou aux portes de Paris, quelque chose comme 50000 kilowatts de courant triphasé à 25 périodes, et que, en outre, plusieurs des usines en question sont disposées de telle sorte qu'en peu de temps cette puissance pourrait être portée à 140000 ou 150000 kilowatts. Il semblerait plutôt anormal de ne pas employer cette puissance disponible encore en partie, pour les motifs d'importance vraiment secondaire qui ont été donnés plus haut.

» Le second a été indiqué par M. Blondel, je m'empresse de le reconnaître. Une usine centrale à 25 périodes peut faire à la fois de la lumière, de la force motrice et de la traction, tandis qu'à 33 périodes elle ne pourra le faire dans bien des cas. Or il résulte de là une appréciable économie de frais.

» Cette considération me paraît de la plus haute importance au moment où la Ville de Paris recherche les tarifs les plus réduits qu'elle puisse imposer aux distributeurs d'énergie électrique. Comme il est impossible de se faire d'avance une idée exacte des répercussions qu'auront ces nouveaux tarifs sur la consommation, on ne peut savoir d'avance à quel degré ils seront rémunérateurs pour les capitaux qui devront y être engagés. Il pourrait se faire qu'une société ne faisant que la lumière et la force n'y pût gagner sa vie, alors qu'une société faisant en même temps de la traction arriverait à y vivre. Or le public a toujours avantage à être desservi par une société faisant ses affaires, plutôt que par une société se débattant dans des difficultés financières inextricables.

» J'espère avoir réussi, Messieurs, à dissiper les préventions qui pouvaient subsister contre l'emploi de la fréquence 25 et vous avoir montré l'intérêt que présente son emploi dans les circonstances actuelles. »

M. le PRÉSIDENT remercie M. Lauriol de la double Communication qu'il a bien voulu présenter.

LES RAYONS CATHODIQUES DANS LE CHAMP MAGNÉTIQUE.

M. VILLARD. — « A la suite d'observations diverses, d'anomalies singulières, signalées par divers auteurs à propos des aspects présentés par les ampoules cathodiques placées dans le champ magnétique, je me suis proposé de reprendre les expériences de Hittorff sur l'enroulement des rayons dans un champ, ainsi que celles, plus anciennes, de Plücker.

» Un rayon cathodique est, comme vous le savez, la trajectoire d'une particule électrisée, dont la charge, toujours négative, est celle de 1 atome d'hydrogène électrolytique (7×10^{-19} unités électrostatiques ou $2,3 \times 10^{-19}$ coulombs), mais d'une masse environ deux mille fois moindre.

» Ces *corpuscules*, comme on les appelle, ne peuvent guère être étudiés que dans des ampoules où l'on a réalisé un vide très avancé pour supprimer tout obstacle au mouvement, et avec des différences de potentiel de quelques milliers de volts au moins et souvent supérieures à 25 000 volts. Exceptionnellement, on peut descendre à 500 volts. Les vitesses observées dans ces conditions (1) sont

(1) La vitesse est proportionnelle à la racine carrée de la chute de potentiel métrique. En effet, soient :

m la masse;

e la charge;

U la chute de potentiel;

v la vitesse;

on a évidemment

$$\frac{1}{2}mv^2 = eU,$$

d'où

$$v = \sqrt{U \frac{2e}{m}} \quad (\text{unités C.G.S.}),$$

$\frac{e}{m}$ est voisin de $1,8 \times 10^7$. U est le nombre de volts multiplié par 10^8 . Pour 1000 volts,

on aura

$$v = \sqrt{1000 \times 10^8 \times 3,6 \times 10^7} = \sqrt{3,6} \times 10^9 \frac{\text{cm}}{\text{sec}} = 1,7 \times 10^9 \frac{\text{cm}}{\text{sec}},$$

soit 17 000 km : s.

Pour 100 000 volts ce serait dix fois plus, soit 170 000 km : s.

énormes; elles se chiffrent par milliers de kilomètres à la seconde, et peuvent dépasser le tiers de la vitesse de la lumière.

» La masse de ces corpuscules pourrait être matérielle au sens ordinaire du mot (hydrogène par exemple); certains auteurs pensent que les propriétés de l'électricité suffisent à expliquer l'inertie de ces corpuscules et les considèrent comme des atomes d'électricité libre (*électrons*).

» L'apparence de masse serait un phénomène purement électromagnétique. Si, en effet, on déplace une charge électrique, il en résulte un courant de convection qui produit autour de lui un champ magnétique. L'accélération qu'il a fallu appliquer à cette charge pour lui donner une vitesse se traduisant ainsi par la production d'un champ magnétique qui emmagasine de l'énergie, un travail a dû être dépensé pour produire la vitesse en question : c'est bien là le caractère de l'inertie; si maintenant nous voulons arrêter cette charge en mouvement, détruire sa vitesse, cet arrêt restituera l'énergie emmagasinée, exactement comme l'arrêt d'un corps en mouvement ne peut se faire qu'en absorbant sa force vive, en la transformant par exemple en chaleur.

» Supposons au contraire l'atome électrique lancé et se mouvant uniformément en ligne droite : le courant électrique qu'il représente est constant, le champ produit ne varie pas, aucune dépense de travail n'est donc nécessaire; c'est identiquement ce qui arrive pour un objet matériel en mouvement uniforme.

» Ainsi l'atome de fluide électrique ou électron, par cela même qu'il est une charge, possède une inertie, il a une véritable masse, mais cette masse est d'une singulière nature, bien faite pour dérouter la notion d'invariabilité, de constance, que nous attachons à l'expression : masse d'un corps. Considérée en effet comme un phénomène électromagnétique, la masse *augmente avec la vitesse*; cet accroissement est sans doute faible aux vitesses courantes (projectiles, et même planètes ou comètes), mais il devient très sensible quand on arrive au tiers ou à la moitié de la vitesse de la lumière (vitesses cathodiques) : pour la vitesse même de la lumière la masse serait infinie.

» Cette notion nouvelle de la nature purement électrique des corpuscules conduit d'ailleurs à cette conséquence paradoxale qu'elle

n'exclut nullement la présence de matière ordinaire dans ces mêmes corpuscules; il est en effet naturel, puisque l'électromagnétisme explique l'inertie, d'admettre que toute inertie, partant toute masse, est de nature électrique. La matière, telle que nous la concevons, serait un assemblage d'électrons, son inertie serait de la self-induction et la masse d'un objet varierait avec la vitesse jusqu'à devenir infinie pour 300 000 km : s. C'est dire qu'un projectile ne pourra jamais être lancé avec la vitesse de la lumière.

» S'il en est ainsi, rien ne s'oppose à admettre que les corpuscules cathodiques contiennent par exemple de l'hydrogène, puisque cela n'empêche en rien leur masse d'être d'origine purement électromagnétique.

» Quelle que soit d'ailleurs l'hypothèse admise, le rayon cathodique est la trajectoire d'une masse électrisée. Il est équivalent à un courant et, comme tel, sensible à un champ magnétique.

» *Champ uniforme.* — Le calcul de la modification qu'un champ uniforme fera subir à la trajectoire est un problème de balistique très simple : supposons le corpuscule lancé perpendiculairement aux lignes de force. Il est soumis à une force constamment perpendiculaire à sa vitesse; celle-ci reste donc invariable. La direction seule est modifiée, tout en restant évidemment dans un plan perpendiculaire au champ (plan contenant la vitesse et la force). La trajectoire est donc plane. D'autre part la force est constante, l'accélération l'est donc également et la ligne plane suivie par le projectile cathodique ne peut être qu'une circonférence parcourue d'un mouvement uniforme.

» Si le rayon incident est oblique au champ, sa vitesse peut être résolue en deux composantes : l'une, perpendiculaire au champ, donne une circonférence parcourue à vitesse constante (arc proportionnel au temps); l'autre, parallèle au champ, produit un déplacement du mobile proportionnel aussi au temps et non modifié par le champ. Nous avons ainsi un point dont l'ordonnée est proportionnelle au temps comme son abscisse curviligne : ce point se déplace donc sur une hélice dont le diamètre est celui de la circonférence correspondant à la composante de la vitesse perpendiculaire au champ.

» Le rayon de cette circonférence, ou de cette hélice, est évidemment en raison inverse du champ et proportionnel à la vitesse ; il est donné par la formule très simple

$$R = \frac{m}{e} \frac{v}{\mathcal{H}} \quad (\text{unités électromagnétiques C.G.S.}),$$

$\frac{m}{e}$ étant le rapport de la masse à la charge, v la vitesse ou sa composante perpendiculaire au champ, $\mathcal{H}$ le champ ; m et e n'interviennent évidemment que par leur rapport, car, si l'on rend solidaires par exemple deux projectiles identiques, ce qui double charge et masse, la trajectoire du système reste celle de chaque projectile.

» Supposons maintenant qu'un rayon cathodique soit émis par

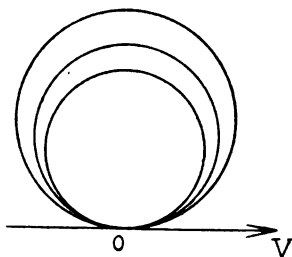


Fig. 1. — Enroulement de rayons de vitesses différentes et de même direction initiale OV (trois rayons seulement figurés).

un point d'une cathode. Ce point d'émission n'est géométriquement qu'un point de la trajectoire ; il se trouve donc, si le rayon est perpendiculaire au champ, sur la circonférence. Autrement dit, tous les rayons émis par un point dans un plan perpendiculaire au champ, quelles que soient leurs vitesses, décriront des circonférences contenant le point d'émission et, par suite, reviendront tous à ce point. Si les vitesses seules diffèrent, mais non les directions, on obtiendra une famille de circonférences toutes tangentes à la direction initiale au point d'émission, et de diamètres différents (*fig. 1*).

» Pour un observateur regardant dans le sens du champ, l'enroulement est décrit dans le sens des aiguilles d'une montre.

» En considérant la formule précédente on voit qu'il revient au même de faire varier le champ ou la vitesse ; avec des rayons de vitesse unique on obtiendrait, en faisant varier le champ, l'aspect

de la figure 1. Le diamètre de chaque circonférence serait en raison inverse du champ.

» Si les rayons sont obliques au champ, et de même direction, on aura une famille d'hélices dont le pas et le diamètre sont l'un et l'autre proportionnels à la vitesse et dont le rapport est celui des deux composantes de cette vitesse, c'est-à-dire constant. Ces hélices seront donc semblables et enroulées sur des cylindres parallèles au champ; de même que les circonférences précédentes passaient toutes par le point d'émission, les cylindres dont il s'agit auront tous une génératrice commune passant par ce même point (*fig. 2*).

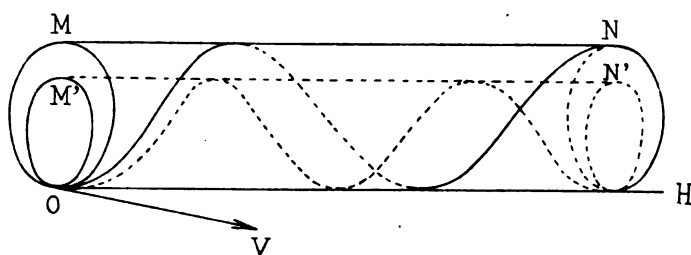


Fig. 2. — Enroulement hélicoïdal de deux rayons de même direction et de vitesses différentes dans un champ uniforme (hélices semblables).

» Enfin, si les directions et les vitesses sont quelconques, on aura des hélices quelconques, mais les cylindres d'enroulement conserveront la génératrice commune dont il s'agit.

» Pour réaliser des conditions voisines de ces cas théoriques, on prend une cathode plane ou faiblement concave, de 8 mm à 12 mm de diamètre, enfermée dans une coupe en verre sur les bords de laquelle s'applique une lame de mica percée d'une ouverture de 3 mm à 4 mm de diamètre (*fig. 3*). L'émission se fait uniquement par le point de la

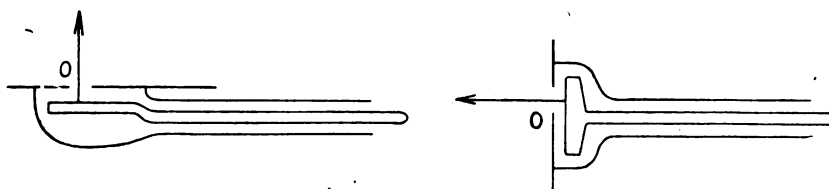


Fig. 3. — Cathodes employées pour obtenir un faisceau cathodique fin.

cathode situé en face du centre de cette ouverture, qu'elle soit près du milieu ou des bords de la cathode; celle-ci étant assez large le champ

électrique est sensiblement uniforme dans son voisinage, seule région de l'ampoule où il soit intense, et l'on a un faisceau presque parallèle et très étroit, suffisant pour observer dans de bonnes conditions les circonférences d'enroulement et quelques spires d'hélice. Avec une cathode enfermée dans une coupe très aplatie, on peut très facilement observer le retour des rayons au point d'émission.

» Quelques précautions sont à prendre pour l'usage de ces appareils fragiles. Les décharges irrégulières de la bobine de Ruhmkorff conviennent mal; il faut employer soit la machine statique, soit un transformateur à haut voltage qui fournit un courant d'une parfaite régularité. On met un rhéostat sur le primaire et une résistance liquide sur le circuit secondaire.

» Le vide doit être fait sur l'oxygène pur, dans lequel les rayons cathodiques sont extrêmement visibles. Cet oxygène s'épuisant assez vite, on le renouvelle en chauffant un petit tube fixé à l'ampoule et contenant un peu d'oxyde d'argent pur, préparé sans faire usage de filtres et lavé seulement par décantation.

» La figure 4 (*voir Pl.*) représente un enroulement photographié dans une ampoule de ce genre. Sur la figure 5 (*voir Pl.*) on a photographié le faisceau initial et son enroulement dans une série de champs de diverses valeurs, jusqu'à 1200 unités environ. On reconnaît l'aspect prévu par la figure 1.

» Pour étudier les hélices il faut diaphragmer le faisceau de manière à éliminer tous les rayons sensiblement écartés de la direction principale. On y arrive aisément en plaçant, en avant de la cathode, un diaphragme de mica percé d'une très petite ouverture. Celle-ci pourra être sur la ligne de force passant par le point d'émission (ligne OH de la figure 2). En réglant convenablement l'inclinaison de la cathode (perpendiculaire à OV) et la distance du diaphragme on épure le faisceau après une ou deux ou trois spires complètes; on reste d'ailleurs maître de faire varier à volonté le diamètre des cylindres d'enroulement puisqu'on diaphragme sur la génératrice commune à tous.

» Il est souvent préférable de diaphragmer au contraire sur une ligne telle que MN ou M'N', parce que les rayons de vitesses différentes sont alors plus séparés. Mais le diamètre des hélices est alors

imposé, et c'est en réglant la valeur du champ qu'on arrive à faire passer les rayons par le trou ménagé dans la lame de mica.

» Ce mode d'épuration du faisceau, après un nombre convenable de spires ou de demi-spires, donne beaucoup de précision aux observations et permet d'observer jusqu'à six spires complètes.

» Les figures 6, 7 et 8 (*voir Pl.*) représentent des enroulements ainsi obtenus. On voit que les choses se passent tout à fait conformément à la théorie.

» *Champ non uniforme.* — Les rayons s'enroulent encore suivant des courbes qui rappellent l'hélice, mais cet enroulement ne se fait pas sur un tube de force.

» Le problème ne peut être abordé géométriquement que dans des cas très simples : supposons, par exemple, un champ tel qu'on l'obtient entre les pôles de deux électro-aimants droits placés dans le prolongement l'un de l'autre. Ce champ est de révolution, il possède un plan équatorial ; dans ce plan et dans des plans parallèles il décroît de l'axe à la périphérie (champ en forme de barillet).

» Considérons un rayon lancé dans le plan équatorial suivant une direction AV passant par l'axe O du champ (*fig. 9*) et donnons-nous la position des lignes d'égale force magnétique (circulaires) et la valeur de la force sur chacune de ces lignes (décroissante de l'axe à la périphérie, cette décroissance étant représentée par un écartement progressif des lignes d'égale force).

» Si le champ était uniforme, comme il est perpendiculaire au plan de la figure le rayon s'enroulerait suivant une certaine circonférence de centre P, indiquée en pointillé. Mais, à mesure qu'il s'éloigne de la ligne α , la force diminue, le rayon de courbure de la trajectoire augmente et celle-ci s'écarte de la circonférence. Arrivé sur une certaine ligne β , en B, le projectile cathodique est dirigé tangentiellement à β et, continuant à tourner, il rencontre dans le sens croissant les champs qu'il avait, de A à B, traversés dans le sens décroissant. Le problème est analogue à celui du mirage, et l'arc décrit, BC, sera symétrique de AB par rapport à OB. Au point C le rayon sera dirigé suivant CO et la courbure en ce point sera la même qu'en A. Il est essentiel de remarquer que le point C ne peut

être sur la circonférence P, et qu'il est en dehors, comme le montre la figure. Si, en effet, on avait deux arcs AB, BC, symétriques, tels que A et C soient sur la circonférence P, la courbure passerait en B par un maximum, tandis qu'elle y passe par un minimum. C est donc en dehors de la circonférence.

» A partir de C le rayon rencontre des champs plus intenses que le long de la ligne α , et croissants : la courbure de la trajectoire augmente jusqu'à un certain point B' où elle est maxima, puis décroît à mesure que le rayon revient vers la ligne α , qu'il atteint en A'; les deux arcs CB', B'A' sont symétriques et au point A' le rayon se retrouve dans les conditions initiales. Mais il est décalé de

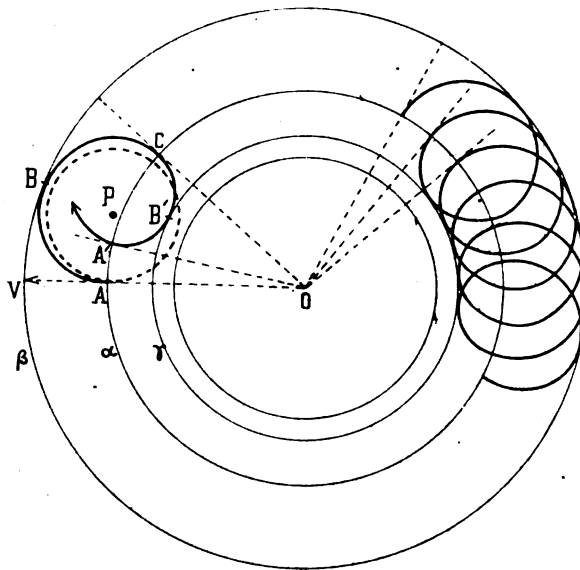


Fig. 9. — Construction de la spirale cathodique à double enroulement dans le plan équatorial d'un champ non uniforme produit entre deux pôles magnétiques.

la quantité AA'. Comme il n'y a aucun obstacle en ce point, il recommence une deuxième spire identique à la précédente, puis une troisième et ainsi de suite indéfiniment ; c'est ce qui est représenté sur la même figure à droite.

» Ainsi, tandis que dans un champ uniforme le projectile cathodique décrirait une circonférence et, en l'absence d'obstacles, recommencerait indéfiniment la même circonférence, il décrit ici

une spirale particulière telle qu'après chaque tour complet le rayon est décalé d'une quantité constante; autrement dit, la spirale ne se referme pas sur elle-même; elle constitue un double enroulement: 1° autour du champ magnétique; 2° autour de l'axe de ce champ (*fig. 10, voir Pl.*).

» Au lieu de considérer un rayon partant d'un point tel que A dans une direction OV, on aurait pu le prendre dirigé d'une manière quelconque. Le point d'émission n'étant pas autre chose qu'un point de la trajectoire cela reviendrait à commencer la spirale précédente par un quelconque de ses points.

» Considérons maintenant le cas beaucoup plus intéressant d'un rayon lancé obliquement dans un champ semblable au précédent.

» Supposons, pour simplifier, la cathode dans le plan équatorial et le rayon lancé obliquement à ce plan, du côté d'un des pôles, par conséquent. Si le champ était uniforme, après un tour complet le rayon rencontrerait de nouveau la ligne de force passant par le point d'émission. Mais, comme dans le cas précédent, le champ est plus intense près de l'axe que loin de cet axe. L'arc d'hélice extérieur s'allongera donc comme le faisait la courbe ABC de la figure 9 par rapport à la circonférence, puis deviendra plus serré comme l'arc CB'A' et, de même que le rayon ne repassait pas par A, il ne reviendra pas à la ligne de force initiale, il y aura un décalage: à chaque spire ce décalage se reproduira, et le rayon s'écartera de plus en plus de la ligne de force en question.

» En même temps ce rayon, avançant vers un pôle, rencontrera des champs de plus en plus intenses. Assimilons ce champ, sur une petite étendue, au champ divergent à lignes de force rectilignes, produit par un pôle isolé. M. Poincaré a démontré que dans ce cas le rayon s'enroule suivant une ligne géodésique située sur un cône; or une semblable ligne, après s'être rapprochée du sommet du cône, rebrousse chemin et s'en éloigne indéfiniment. Autrement dit, le pas de l'hélice diminue plus vite que son diamètre, devient nul sans que celui-ci le soit, puis devient négatif; le corpuscule s'éloigne alors du pôle et le diamètre des spires recommence à croître.

» Nous pouvons donc sinon démontrer, du moins admettre qu'il y aura à la fois le phénomène du rebroussement de la trajectoire hélicoïdale de pas variable, et en même temps le phénomène de

décalage déjà décrit, le premier dû à la convergence du champ vers le pôle, le second à la plus grande intensité de ce champ près de son axe.

» Le rayon s'enroulera ainsi en spires décroissantes sur une surface fusiforme oblique par rapport à la ligne de force passant par la cathode. Cet enroulement s'arrêtera à une certaine distance du pôle, s'en éloignera ensuite, puis s'arrêtera de nouveau à la même distance de l'autre pôle, reviendra vers le premier, et ainsi de suite, sans que le rayon puisse rencontrer les parois de l'ampoule si celle-ci contient les pôles ou au moins en est très près. Quant au décalage, il ne dépend que de la condensation du champ vers l'axe et, par suite, a lieu tout le temps dans le même sens, produisant comme pour la figure 9 un enroulement général centré sur l'axe de l'électro-aimant, et parcouru dans le sens des aiguilles d'une montre pour un observateur regardant dans la direction du champ.

» On se représentera assez bien cette trajectoire en imaginant un long ressort en hélice qu'on reploierait en zig-zag, et qu'on poserait sur un baril de manière à en faire le tour. La figure 11 (*voir Pl.*) montre un exemple de ce phénomène, on voit l'aller et le retour du rayon ainsi que le décalage (une lame de mica arrête le rayon après le premier aller et retour).

» La figure 12 est le calque exact d'une photographie stéréoscopique de l'enroulement (¹).

» Dans une ampoule un peu vaste, on observe aisément un nombre d'allers et de retours suffisant pour couvrir une surface faisant le tour complet de l'axe du champ; l'aspect est celui d'un baril lumineux dont les douves, séparées à leurs extrémités, se croiseraient en leurs milieux.

» *Rayons magnétocathodiques.* — Indépendamment de l'enrou-

(¹) La reproduction de l'épreuve en photogravure eût été mauvaise à cause de la faiblesse des spires d'ordre élevé nécessairement un peu étalées et par suite moins brillantes que les premières. En outre, l'inévitable réseau a le défaut de supprimer l'effet stéréoscopique à cause de l'aspect ponctué de l'image et du défaut de correspondance des points qui la composent. Le dessin au trait peut au contraire être reproduit sans trame : celui-ci n'est d'ailleurs que le renforcement, à la plume, du positif véritable.

lement, simple ou composé, des rayons cathodiques, le champ magnétique fait apparaître un phénomène complètement différent, entrevu par Plücker puis signalé plus nettement par M. Birkeland. Plücker avait observé que dans un champ magnétique intense la lueur négative d'un tube de Geissler se dispose suivant un tube de force ayant pour base la cathode. M. Birkeland a décrit un phénomène analogue ; pour une certaine valeur de la force magnétique à la cathode, celle-ci émet, par toute sa surface, des rayons qui suivent les lignes de force et se terminent à une certaine distance de la cathode sans cause apparente.

» En reprenant ces expériences j'ai constaté les faits suivants :

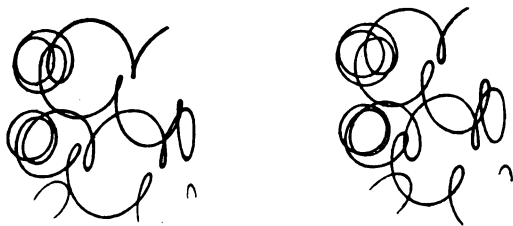


Fig. 12.

» Dans une ampoule où le vide de Crookes est réalisé, si la cathode est plane ou concave, et à peu près adossée à la paroi de l'ampoule, il n'y a émission notable de rayons cathodiques que par le centre de la cathode, du côté libre. Vient-on à placer cette ampoule dans un champ magnétique, les rayons s'enroulent d'abord en spires d'autant plus serrées que le champ est plus intense, puis, presque brusquement, l'aspect se modifie complètement ; un large faisceau de rayons apparaît, figurant un tube de force qui a la cathode pour base, et les deux faces de la cathode émettent des faisceaux identiques. Les lois ordinaires de l'émission sont complètement transformées.

» L'action d'un champ magnétique se manifeste encore d'une autre manière : supposons un tube à rayon X, à son vide normal, alimenté par un condensateur isolé.

» La décharge passe, abaisse le potentiel du condensateur, et le tube cesse de fonctionner.

» Mais, si on approche un aimant, aussitôt le potentiel explosif est assez abaissé pour que la décharge recommence, pour cesser bientôt, mais après un nouvel abaissement, assez considérable, du voltage du condensateur,

» Ainsi le champ magnétique n'a pas seulement une action directrice sur la décharge électrique, il en modifie profondément le régime, abaissant le voltage explosif⁽¹⁾ et changeant complètement le régime de l'émission.

» Si maintenant nous prenons une cathode pourvue d'un diaphragme étroit, semblable à celle de la figure 3, les rayons étant dirigés obliquement dans un champ uniforme, que nous ferons croître, les rayons s'enrouleront d'abord et leur trace sur la paroi opposée décrira une courbe (*fig. 13, Pl.*) dont les boucles décroissantes passeront toutes par un point fixe, trace de la ligne de force qui passe par le point d'émission. Ce sera un point asymptotique. Mais, après avoir parcouru une dizaine de boucles par exemple, la tache fluorescente cessera de présenter des mouvements de gyration qui indiquent la continuation de l'enroulement : elle deviendra uniforme et fixe, et son diamètre sera exactement celui du diaphragme cathodique, l'émission se faisant alors par toute la partie libre de la cathode et non plus par un seul point.

» Ce dispositif peut évidemment, s'il y a deux espèces de rayons, donner un mélange; le suivant paraît préférable (*fig. 14*) : une cathode disposée comme le montre la figure est placée entre deux plaques de mica D, D' dont l'une sert à protéger le verre de l'ampoule, l'autre étant percée d'une ou deux ouvertures telles que O.

» Pour une valeur convenable de champ tous les rayons émis par C s'enroulent sur des cylindres de diamètre inférieur à la distance CO, aucun ne peut passer par cette ouverture. Mais celle-ci, pourvu qu'elle soit dans l'espace obscur de Hittorff, émet un faisceau intense de rayons dirigés suivant les lignes de force (*fig. 15, 16 et 17, Pl.*).

(1) On peut observer une élévation de ce voltage quand les rayons cathodiques sont ramenés par le champ vers la cathode, parce qu'ils électrisent alors les parois de l'ampoule, c'est un effet secondaire.

» Si l'on fait passer ce faisceau entre deux plateaux parallèles tels que P, en toile métallique, très rapprochés, et entre lesquels on crée un champ électrostatique, les rayons sont déviés comme le montre la figure 12, parallèlement aux plateaux, c'est-à-dire que *la déviation est perpendiculaire aux lignes de force électrique*.

» On peut recevoir ces rayons dans un cylindre de Faraday (protégé par une enceinte); on constate qu'ils ne le chargent pas

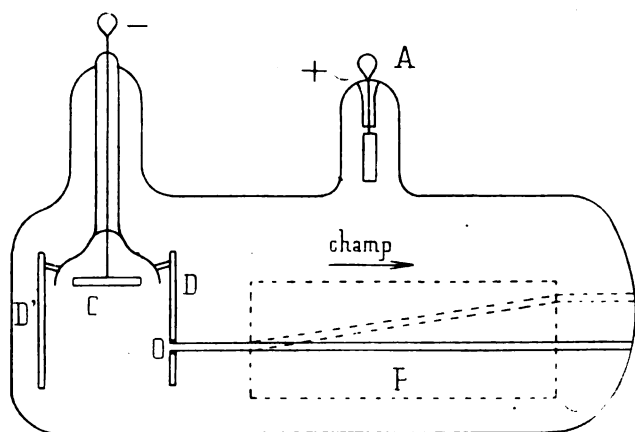


Fig. 14. — Ampoule pour rayons magnétocathodiques. — Déviation électrostatique de ces rayons.

tandis que les rayons cathodiques ordinaires le chargent négativement.

» Pour rappeler le mode de production de ces singuliers rayons, je les ai désignés par le nom de rayons *magnétocathodiques*.

» M. Fortin a proposé pour ces rayons une théorie qui les ramènerait à n'être que des rayons cathodiques ordinaires de vitesse assez faible pour que l'enroulement ne soit pas visible.

» M. Fortin a calculé la trajectoire d'un rayon cathodique dans un champ magnétique et un champ électrique simultanés. Si le rayon est enroulé en spires de très petit diamètre, l'ensemble de l'enroulement est dévié dans un plan presque perpendiculaire à la force électrique, le sens de la déviation variant avec le sens du champ magnétique et celui de la force électrique.

» Or, si les spires sont petites, s'il y a un mélange de rayons de diverses vitesses et de directions un peu différentes (c'est toujours

le cas), l'ensemble de l'enroulement formera un cylindre où l'on ne distinguera rien, et qui simulera un faisceau de rayons rectilignes.

» Cette théorie s'applique à un grand nombre de cas, et il arrive souvent qu'un faisceau d'apparence rectiligne n'est en réalité qu'un faisceau cathodique reconnaissable aux mouvements de gyration que présente, quand le champ varie, la tache fluorescente produite sur le verre. La charge d'un cylindre de Faraday est aussi un criterium sûr.

» Nos connaissances sont trop incomplètes pour décider si cette théorie très simple et très séduisante ne convient pas à tous les cas. Les phénomènes d'ionisation permettraient peut-être d'expliquer l'absence de charge d'un cylindre de Faraday par les rayons magnétocathodiques. Il y a donc lieu, sans faire d'objections proprement dites à cette manière de voir, d'indiquer les anomalies que la découverte de phénomènes nouveaux pourrait seule faire disparaître.

» En premier lieu, c'est le passage discontinu d'un phénomène à l'autre. Des rayons enroulés en cylindre étroit chargent bien un cylindre de Faraday, puis, brusquement, pour un médiocre accroissement de champ, l'aspect du faisceau change et l'électromètre tombe à zéro; le potentiel de décharge n'est pas sensiblement modifié, le degré de vide reste le même, il semble bien que c'est la nature des rayons qui n'est plus la même. En même temps toute trace d'enroulement ⁽¹⁾, de gyration dans la trace du faisceau sur le verre, a disparu.

» Dans une ampoule où le vide est peu avancé, les rayons magnétocathodiques forment un faisceau qui s'arrête à peu de distance (quelques centimètres) de son point de départ. Cette distance augmente avec le champ magnétique qui semble ainsi être moteur pour ces rayons. Rien de semblable ne s'observe avec les rayons cathodiques ordinaires.

» Si le champ n'est pas uniforme (ampoule posée sur un électro-aimant en fer à cheval), on a vu que les rayons cathodiques forment

(1) Avec des faisceaux très fins l'enroulement est toujours facile à voir parce qu'il remplace le faisceau par le cylindre d'enroulement. Avec des rayons produits par 30 000 volts, dans un champ de 500 unités, le diamètre de ce cylindre est voisin de 2 cm. Pour qu'il descendit à 2 mm, il faudrait que la vitesse fût dix fois moindre, et le potentiel de décharge cent fois plus petit, soit 300 volts.

une spirale qui s'arrête à une certaine distance du pôle, puis rebrousse chemin; mais cette spirale ne suit pas un tube de force, elle forme le zigzag déjà décrit. On peut essayer de lancer un rayon cathodique suivant une ligne de force; il ne la suit que si elle est rectiligne, sinon il ne tarde pas à s'en écarter, ce qui est facile à vérifier en se plaçant dans le plan de symétrie passant par les pôles de l'électro-aimant. L'enroulement cathodique s'écarte visiblement de ce plan, le rayon magnétocathodique y reste toujours: il peut s'arrêter plus ou moins loin, suivant le degré de vide et la valeur du champ, jamais il ne rebrousse chemin comme la spirale cathodique.

» Rien de tout cela ne constitue cependant une impossibilité absolue d'admettre la théorie de M. Fortin, parce que nous sommes loin de connaître toutes les propriétés des rayons cathodiques et même de savoir si celles que nous connaissons ne sont pas profondément variables avec la vitesse.

» Quoi qu'il en soit, ces rayons magnétocathodiques présentent avec les rayons cathodiques une remarquable relation :

» Quand un rayon cathodique est placé dans un champ magnétique intense, tous ses points émettent des rayons magnétocathodiques en lesquels il finit par se résoudre complètement.

» En voici deux exemples :

• Supposons un faisceau cathodique fin enroulé en circonférence; disposons des écrans tels qu'aucune hélice (il y a toujours des rayons non exactement perpendiculaires au champ) ne puisse faire plus d'un demi-tour. Il suffira de prendre pour cela une lame quelconque placée parallèlement aux lignes de force, coupant ainsi longitudinalement tout cylindre d'enroulement. Malgré cela, on voit un cylindre lumineux ayant pour base la circonférence cathodique et figurant un tube de force; ce cylindre n'est pas constitué par des hélices, mais par des génératrices rectilignes magnétocathodiques.

» Formons une hélice cathodique bien nette, de pas défini par un diaphragme à trou placé après les deux premières spires par exemple. Si le champ est faible, cette hélice sera très nette, et atteindra la paroi sans affaiblissement appréciable (un rayon cathodique peut facilement atteindre 1 m de longueur); si le champ devient intense, l'hélice se resserre en restant semblable à elle-

même, mais sa longueur, de la cathode à la paroi, reste invariable ('). Malgré cela, on voit facilement que le rayon cathodique n'atteint plus la paroi : l'hélice, toujours très nette, s'évanouit après huit ou dix spires ; le rayon cathodique a disparu, presque complètement, après un trajet inférieur à celui qu'il faisait d'abord.

» Cependant le tube de force est toujours visible par fluorescence du gaz, jusqu'à la paroi. L'hélice s'est résolue en rayons magnétocathodiques et l'on en a la preuve en disposant une lame de mica, mobile à volonté, qu'on amène à couper le tube de force dans le sens de sa longueur ; tout ce qui s'enroule est ainsi arrêté. Or, si cette lame est placée à l'origine de l'hélice, elle supprime toute luminescence du gaz après elle : mais, si elle est placée après la cinquième ou la sixième spire, ou mieux un peu plus loin encore, elle ne supprime presque plus rien, parce qu'il n'y a presque plus de rayons enroulés, mais seulement des rayons magnétocathodiques qui sont les génératrices du tube de force, et qu'une lame parallèle à ces génératrices n'arrête naturellement pas (*fig. 18*, voir *Pl.*).

» L'interprétation est contrôlée par l'observation de la tache fluorescente produite par le bout du faisceau sur le verre. Comme on n'a jamais une hélice géométrique, mais une infinité d'hélices très voisines, cette tache se compose (dans un champ modéré) d'un arc de la courbe représentée figure 13 (voir *Pl.*). Cet arc pourra, si l'on veut, former presque un anneau complet. Si l'on fait varier le champ, il se déplace en tournant sur la courbe en question ; mais, si l'on coupe l'hélice cathodique en un point quelconque, tout l'arc fluorescent est supprimé.

» Si au contraire on a un champ intense, le diaphragme longitudinal qui arrête les hélices ne supprime plus la tache fluorescente : celle-ci, qui est alors un anneau *circulaire* complet (trace du tube de force), est alors simplement coupée par l'ombre du diaphragme. Quand on fait varier le champ, le diamètre de l'anneau change, mais il reste toujours coupé de la même manière, sans aucune ten-

(') Il suffit de considérer le rayon initial comme la diagonale d'un rectangle qu'on enroule successivement sur des cylindres d'un diamètre de plus en plus faible ; l'enroulement occupe toujours la même longueur sur le cylindre, et la longueur de l'hélice est aussi toujours la même, étant celle de la diagonale enroulée.

dance à une rotation quelconque : il est donc bien la trace, non d'hélices variables avec le champ, mais de rayons rectilignes en lesquels s'est résolu le rayon cathodique enroulé d'abord en hélice ⁽¹⁾.

» Si l'on ajoute à ces singuliers rayons, variété ou non des rayons cathodiques, ceux de M. Goldstein, et les rayons cathodiques non déviabiles de M. J.-J. Thomson, on voit que nous sommes loin de savoir exactement en quoi consiste une décharge électrique.

» *Essai de théorie de l'aurore boréale.* — M. Arrhénius a émis l'hypothèse que l'aurore boréale est due à des rayons cathodiques émanés du Soleil. C'est là une explication très plausible de l'origine ou de la cause principale du phénomène, mais cette hypothèse n'explique en rien les caractères de l'aurore elle-même, et dire qu'elle est formée de rayons cathodiques revient sensiblement à considérer l'aurore comme une décharge électrique dans un gaz raréfié, sans donner la raison des particularités qu'elle présente.

» Les particularités en question sont les suivantes : •

» L'aurore affecte généralement une forme en éventail composé de bandes lumineuses semblables à des faisceaux de projecteurs, convergeant vers le pôle magnétique, mais s'arrêtant à distance de celui-ci et s'appuyant en quelque sorte sur un arc dont l'intérieur est sombre (arc auroral).

» La base de chaque faisceau sur cet arc présente un renforcement notable. La longueur des rayons est variable; souvent on les voit aller d'un pôle à l'autre.

» Par instants, des mouvements se produisent dans l'aurore; les rayons se déplacent le long de l'arc auroral comme si l'ensemble tournait, tantôt dans un sens, tantôt dans l'autre, autour de l'axe magnétique du globe.

» Parfois la base des rayons s'élève ou s'abaisse comme si chaque faisceau lumineux était animé d'un mouvement longitudinal (danse des rayons).

(1) Il n'y a pas allongement progressif du pas de l'hélice se transformant en ligne droite, car on la voit s'évanouir sans changer de pas : d'autre part, le diaphragme longitudinal arrêterait l'hélice même si elle tendait à se rapprocher progressivement d'une génératrice du cylindre.

» Il faut ajouter à cela les taches lumineuses dans le Ciel (plaques aurorales).

» Les phénomènes d'enroulement des rayons cathodiques dans un champ non uniforme permettent d'expliquer la plupart de ces aspects et même de discuter l'origine de l'énergie électrique du météore.

» Si l'aurore est produite par des particules cathodiques émanant du Soleil ces particules ne peuvent arriver à la Terre que si le champ magnétique solaire est négligeable. En effet, ce champ, étant de révolution, les rayons cathodiques y produisent l'enroulement composé en zigzag formant autour du Soleil une nappe de révolution dont les points d'émission feront partie, et qui, par suite, ne pourra s'écarter du Soleil à une distance supérieure à celle de ces points.

» Le diamètre des spires d'enroulement sera lui-même négligeable devant le diamètre du Soleil (dans un champ de $\frac{1}{10}$ d'unité et pour des particules ayant la vitesse de la lumière, ce diamètre serait de 600 m environ).

» Ainsi le champ magnétique solaire est incompatible avec l'arrivée des particules cathodiques sur la Terre; l'hypothèse d'Arrhénius nous oblige donc à admettre que ce champ est sensiblement nul, ce qui est possible vu la température élevée de l'astre.

» Supposons donc les particules cathodiques entrant dans le champ magnétique terrestre qui s'étend jusqu'au Soleil et au delà : leurs trajectoires s'enrouleront, donneront la nappe en zigzag ayant pour axe l'axe magnétique du globe et passant par le lieu d'émission, soit le Soleil.

» On pourra donc voir peut-être, très près des pôles, les extrémités de tous les faisceaux d'enroulement, mais comme, à chaque aller et retour, ils devront s'éloigner à une distance égale à celle du Soleil, s'ils ne sont pas absorbés en route, ils seront hors de l'atmosphère, dans un vide parfait, et invisibles. Comme il est certain que les aurores boréales ou australes peuvent donner des rayons qui, même à l'équateur, sont encore dans l'atmosphère terrestre, les rayons cathodiques qui les produisent ne peuvent venir directement du Soleil, à moins de perturbations magnétiques cosmiques modifiant la forme du champ et le trajet des particules.

» On peut peut-être admettre que ces particules d'origine solaire arrivent assez près des pôles terrestres pour rencontrer des cirrhus (qui accompagnent toujours l'aurore).

» Ces cirrhus peuvent être électrisés négativement parce que les ions négatifs conduisent la vapeur d'eau plus facilement que les ions positifs. Or j'ai observé récemment que des rayons cathodiques à grande vitesse frappant un objet quelconque électrisé négativement provoquent une abondante émission de rayons par le point frappé, même si, au voisinage de ce point, la chute de potentiel est par elle-même beaucoup trop faible pour produire spontanément une émission (120 volts suffisent). La vitesse de ces rayons correspond à la chute de potentiel en question. Les cirrhus, formés d'aiguilles de glace, constitueraient ainsi de vastes cathodes secondaires. L'émission produite, normale à l'ellipsoïde terrestre, serait oblique au champ magnétique et l'on serait dans les conditions voulues pour avoir l'enroulement composé déjà décrit.

» Rien n'empêche d'admettre l'existence d'autres causes excitatrices d'origine cosmique, radiations ou rayons (on a vu qu'il en est d'insensibles au champ magnétique). Ce qui est essentiel, c'est d'avoir des rayons cathodiques d'origine terrestre.

» Nous n'avons ainsi à considérer que l'explication des aspects présentés par l'aurore, celle-ci étant supposée produite par des rayons émis dans notre atmosphère.

» Ces rayons sont soumis au champ terrestre qui, malgré sa faible intensité, suffit à donner des enroulements qui n'ont pas 100 m de diamètre pour des corpuscules ayant la vitesse de la lumière. Or, le champ terrestre présente une grande analogie de forme avec celui qu'on obtient entre deux pôles d'aimants : les lignes de force seront seulement rentrantes aux pôles, c'est-à-dire plus courbes, ce qui ne peut qu'exagérer les effets observés avec l'électro-aimant.

» Considérons donc l'enroulement en zigzag de la figure 12 ; ce sera évidemment celui des rayons dans le champ terrestre dont la direction est généralement oblique au champ électrique de l'atmosphère. Mais, au lieu d'un point, nous aurons une large surface d'émission, un cirrus par exemple. Tous les rayons ainsi émis auront à peu près même vitesse et même direction ⁽¹⁾ et donneront

(1) Ils seront, en effet, produits par le champ électrique terrestre.

des enroulements identiques dont l'ensemble formera un large faisceau dans lequel aucune spire ne sera évidemment visible. Ce faisceau, dont l'épaisseur sera le diamètre d'une spire, et la largeur celle du cirrhus plus ce même diamètre, se comportera comme chacun des enroulements dont il est composé; il se dirigera par exemple vers le Nord, un peu obliquement aux lignes de force, puis rebrousse chemin à une certaine distance du pôle pour repartir vers le Sud, la nouvelle direction étant symétrique de la première par rapport à la force magnétique. Vers le pôle Sud, nouveau rebroussement, retour vers le Nord, avec décalage toujours dans le même sens, et, de nouveau, arrêt à la même distance du pôle que précédemment, puis encore départ vers le Sud, et ainsi de suite.

» Aux points de rebroussements, qui sont à la même distance d'un pôle si le champ est de révolution, tous les filets cathodiques se replient sur eux-mêmes, et l'expérience de la figure 12 montre que, même si les directions sont un peu différentes, le repliement de la spirale ne change pas de position; d'où une condensation de lumière, un renforcement très visible résultant du tassement des spires vers le lieu de rebroussement (1).

» Représentons comme sur un planisphère (fig. 18) la nappe

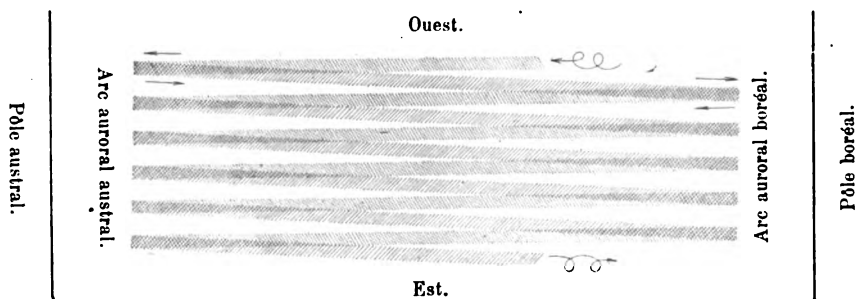


Fig. 18. — Figure schématique (planisphère) de l'enroulement cathodique auroral.

des rayons cathodiques. Le lieu des extrémités des faisceaux fusiformes (ayant comme convergence à peu près celle du champ)

(1) Dans l'expérience de la figure 12, le faisceau cathodique est devenu presque invisible, par étalement, au bout de dix ou douze spires, et l'on voit cependant très bien les boucles terminales correspondant à la vingtième ou vingt-cinquième spire.



Fig. 4.

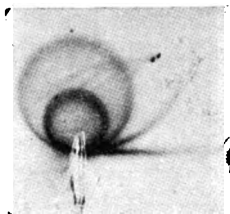


Fig. 5.

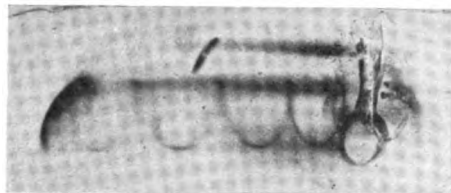
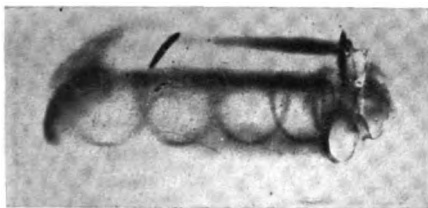


Fig. 7.

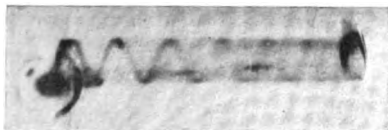


Fig. 6.



Fig. 8.

Fig. 4. — Photographie d'un faisceau cathodique et de son enroulement dans un champ uniforme perpendiculaire à sa direction (environ grandeur naturelle).

Fig. 5. — Photographie d'un faisceau cathodique et enroulement de ce faisceau dans des champs successifs de plus en plus intenses.

Fig. 6. — Hélice cathodique dans un champ uniforme. On voit que le faisceau est plus étroit que l'ouverture d'émission (cathode de la figure 3). Toutes les spires passent par la ligne de force issue du point d'émission. (Ce faisceau est diaphragmé après une spire.)

Fig. 7. — Photographie stéréoscopique d'une hélice cathodique. La tache fluorescente sur le verre est un arc de la courbe représentée figure 13.

Fig. 8. — Enroulement dans un champ intense (1200 unités environ); le faisceau est diaphragmé après deux spires. Transformation progressive en rayons magnéto-cathodiques.

2^e SÉRIE, TOME VI, 1906. — N° 52.

étant à une distance constante de chaque pôle (dépendant seulement de la convergence du champ près de ce pôle) sera un parallèle magnétique représenté ici par une droite. Ce sera l'*arc auroral* avec les renforcements signalés plus haut et observés dans l'aurore boréale.

» La superposition partielle de l'aller et du retour de chaque fuseau (oblique au champ) constituera un faisceau résultant dont la direction moyenne sera évidemment celle du champ. Cette superposition doublant l'intensité lumineuse, ce sera surtout près des arcs auroraux que le météore sera visible. Nous avons ainsi les rayons auroraux disposés en éventail sur l'arc auroral, à l'intérieur duquel il n'y a rien, puisque les rayons cathodiques n'y peuvent pénétrer.

» Si le pas du décalage, c'est-à-dire la distance des points homologues des spires de rebroussement de deux retours successifs, est supérieur à la largeur du faisceau d'ensemble, les rayons auroraux seront distincts, ce sera l'aurore classique en éventail. Si ce pas est moindre, il y aura superposition partielle de deux rayons auroraux voisins; il en résultera des renforcements de lumière simulant les plis d'une draperie (aurore en draperies).

» Quel que soit le lieu d'émission, le sens de l'enroulement composé est celui des aiguilles d'une montre pour un observateur regardant le Nord magnétique : c'est le sens de rotation de la Terre. Si donc on avance vers l'Est, on rencontrera des fuseaux cathodiques dont le numéro d'ordre sera de plus en plus élevé, et qui, par suite de la déperdition d'énergie sous forme de lumière, seront de plus en plus faibles, jusqu'à évanouissement complet après une fraction plus ou moins grande du tour de la Terre.

» Supposons que l'émission ait lieu sous l'influence d'un rayonnement solaire (M. Buisson a montré que l'ultra-violet décharge les cristaux de glace électrisés négativement); l'aurore commencera dans l'hémisphère éclairé, et s'avancera vers l'Est en s'affaiblissant; en abordant l'hémisphère obscur elle deviendra visible et le côté de cet hémisphère pour lequel le Soleil vient de se coucher sera évidemment le lieu où l'on verra les fuseaux d'ordre peu élevé, c'est-à-dire les plus brillants. Ce sera donc aussitôt après le coucher du Soleil qu'on aura le plus de chance de voir une aurore boréale, car,

à mesure que la Terre tournera, entraînant l'observateur vers l'Est, il faudra, pour arriver jusqu'à lui, des aurores de plus en plus intenses et, partant, plus exceptionnelles.

» Supposons maintenant une perturbation magnétique ayant pour effet de changer la convergence du champ vers le pôle (ce qu'on réalise expérimentalement en éloignant ou rapprochant l'un ou l'autre des pôles de l'électro-aimant). Aussitôt le point de rebroussement du fuseau cathodique s'éloignera ou se rapprochera du pôle; on aura le mouvement longitudinal de la *danse des rayons*.

» Si, au contraire, on modifie *soit la vitesse des rayons* (différence de potentiel motrice), *soit l'intensité du champ*, les spires cathodiques se resserrent par exemple de 10 pour 100 (champ plus intense ou vitesse moindre), mais, en même temps, les fuseaux se rapprochent; celui qui part du lieu d'émission reste à peu près fixe, son diamètre, égal à la largeur du cirrhus plus celle d'une spire, change à peine; le second se rapproche du premier de 10 pour 100; le troisième se déplace du double, et ainsi de suite : on verra donc les bases des fuseaux courir le long de l'arc auroral par une véritable rotation autour de l'axe magnétique, rotation dont on se fera une idée exacte en imaginant que sur la figure 16 on resserre tous les fuseaux à la manière de ces appliques extensibles formées d'entretoises en losanges.

» Ce phénomène est facile à reproduire dans un grand ballon placé entre les pôles d'un électro-aimant, et dans lequel on produit des rayons cathodiques en un point dans une direction convenable (voir *Pl., fig. 19, 20 et 21*). On a la nappe déjà décrite et, si l'on fait varier le champ, cette nappe, sans changer de forme ni de diamètre, s'enroule ou se déroule à volonté autour de son axe, chaque fuseau se déplaçant proportionnellement à son numéro d'ordre. Le phénomène est encore plus saisissant si la source électrique est un alternateur présentant un peu de *pompage*, d'où résultent des variations périodiques de voltage qui modifient la vitesse cathodique et produisent la rotation de l'aurore artificielle. Cette rotation n'est donc qu'un phénomène de *pompage* naturel du champ terrestre ou du potentiel atmosphérique.

» Ainsi, cette étude de l'électromagnétisme cathodique, poussée par l'expérience plus loin peut-être qu'on ne pourrait le faire par

l'analyse, conduit non seulement à une explication vraisemblable d'un phénomène naturel remarquable, mais à la possibilité d'en discuter l'origine terrestre ou cosmique. »

M. le PRÉSIDENT remercie M. Villard pour sa très intéressante Communication sur les rayons magnétocathodiques et sa théorie des aurores boréales.

La séance est levée à 10^h 15^m du soir.

RECHERCHES RÉCENTES SUR LE MÉCANISME DE LA DÉCHARGE DISRUPTIVE ⁽¹⁾.

M. LANGEVIN. — « Messieurs, je me propose de vous montrer comment les idées actuelles sur la nature de l'Électricité, sur la structure des charges électriques, permettent, pour la première fois, de représenter et de suivre dans le détail le mécanisme des phénomènes de décharge disruptive.

» Ce n'est pas que nous possédions encore une connaissance complète des lois qui régissent les apparences complexes et variées de l'étincelle électrique, mais nous possédons en quelque sorte les lettres de l'alphabet dans lequel est écrit le mystère de ces phénomènes, connus depuis longtemps, mais restés, à cause de leur complexité même, en marge du domaine théoriquement exploré.

» Vous savez comment les recherches sur la structure intime des charges électriques, constituées par un nombre immense, mais aujourd'hui connu, de particules électrisées, ions ou électrons, ont été facilitées par la conductibilité que communiquent aux gaz les radiations nouvellement découvertes, rayons de Röntgen ou du radium. La simplicité du milieu gazeux a permis de saisir individuellement ces centres électrisés, de les dénombrer, de mesurer leur charge, identique à celle des atomes monovalents dans l'électrolyse, de montrer que le courant à travers le gaz, et probablement toute espèce de courant, consiste en un déplacement de semblables particules sous l'action d'un champ électrique, les positives se mouvant dans le sens du champ et les négatives en sens inverse.

» On a pu, en outre, suivre les modifications que subissent les centres électrisés lorsque les conditions dans lesquelles le gaz est placé viennent à changer. A la température ordinaire, les ions dans les gaz semblent être formés d'une agglomération de molécules neutres, d'un essaim maintenu, par attraction électrostatique, autour d'un noyau plus simple provenant de la dissociation, par le rayonnement extérieur qui a créé la conductibilité, de certains atomes ou

(¹) Communication présentée en séance du 6 janvier 1906.

molécules du gaz en portions électrisées positivement et négativement. Les molécules neutres qui forment le cortège, électriquement polarisables comme tout milieu diélectrique, sont attirées en conséquence par le noyau chargé, comme des poussières ou des objets légers sont attirés par un corps électrisé quelconque.

» Mais l'agitation thermique tend à s'opposer à l'agglutination et, à température élevée, les ions paraissent se simplifier, se débarrasser de leur enveloppe de molécules pour ne plus conserver que le noyau central, fraction d'atome ou de molécule, et il se manifeste alors, de manière plus nette et plus profonde qu'à la température ordinaire, une dissymétrie considérable entre les charges positives et négatives.

» Cette dissymétrie entre les deux espèces d'électricité s'était révélée au début de l'étude des phénomènes électriques dans l'aspect des aigrettes des deux signes, dans les décompositions électrolytiques et dans bien d'autres phénomènes, mais n'a pris toute son importance que lors des recherches récentes.

» Les noyaux négatifs, que nous appelons *électrons négatifs*, *corpuscules* ou *particules cathodiques*, sont de beaucoup les plus mobiles dans le gaz sous l'action d'un champ électrique lorsqu'ils sont libres, comme par exemple dans les flammes ou dans les tubes à vide pendant la décharge, et se présentent comme étant de petites fractions d'atome, de masse deux mille fois plus petite que celle de l'atome d'hydrogène.

» Les centres positifs paraissent être, au contraire, de l'ordre de grosseur des atomes, de sorte que la conception que nous pouvons nous faire de la conductibilité provoquée dans un gaz par les rayons de Röntgen consiste dans la dissociation par le rayonnement de certaines molécules ou de certains atomes en un électron négatif qui en faisait partie et un résidu chargé positivement, de masse presque égale à celle de l'atome primitif. Ce résidu dépend de la nature du gaz dissocié, tandis que l'électron négatif en semble indépendant par toutes ses propriétés, tous les atomes matériels paraissant renfermer les mêmes électrons.

» Ces deux espèces de centres, dans un gaz soumis à une température élevée, se déplacent sans rien agglomérer autour d'eux, les négatifs beaucoup plus rapidement que les positifs, à cause de leur

faible masse; au contraire, à la température ordinaire, des cortèges se constituent, d'importance à peu près égale de part et d'autre, et nous avons affaire aux ions.

» La dissociation précédente, que nous appellerons *corpusculaire* pour la distinguer de la dissociation électrolytique des molécules salines qui se fait de manière toute différente, est instable dans les gaz où une cause extérieure est nécessaire pour la produire, mais semble s'effectuer spontanément dans certains milieux comme les métaux.

» C'est là l'explication actuelle de la conductibilité métallique, par dissociation corpusculaire spontanée des atomes, en un ou quelques électrons négatifs et un résidu positif, généralement immobile, pour constituer la charpente solide du métal, tandis que les corpuscules se déplacent à travers cette charpente comme le ferait un gaz dans un tuyau ou mieux dans une éponge, un champ électrique à l'intérieur du métal soufflant ce gaz cathodique pour créer le courant électrique comme une différence de pression soufflerait le gaz au travers de l'éponge.

» L'identité des corpuscules produits par les divers atomes permet d'expliquer l'absence de toute modification du milieu métallique à la suite du passage d'un courant, puisqu'un métal en contact avec des milieux différents reçoit d'un côté des électrons identiques à ceux qu'il perd de l'autre.

» La présence d'électrons négatifs libres (de ce gaz corpusculaire) à l'intérieur des métaux se trouve entièrement confirmée par divers phénomènes dans lesquels on oblige, sous certaines influences, les électrons à sortir du métal. En particulier, la lumière ultra-violette provoque en frappant un métal une semblable émission de charges négatives sous forme de particules identifiées avec celles qui constituent les rayons cathodiques. C'est là le phénomène découvert par Hertz.

» Une semblable influence apparaît en effet nécessaire pour provoquer la sortie du gaz cathodique intérieur au métal, bien que, à première vue, on ne voit pas pourquoi cette sortie ne se fait pas d'elle-même comme l'expansion d'un gaz, ni pourquoi l'électrostatique est possible, un conducteur ne dispersant pas immédiatement les charges électriques en mouvement qu'il contient.

» Mais l'existence dans le milieu métallique d'un gaz cathodique dont les particules se meuvent en tous sens n'implique nullement l'absence d'un effort pour sortir une de ces particules dans le vide environnant. La cause même qui produit la dissociation corpusculaire du métal, le pouvoir inducteur spécifique élevé du milieu, empêche la sortie des corpuscules dissociés, puisqu'un travail fini, la différence des énergies potentielles, inversement proportionnelles aux pouvoirs inducteurs spécifiques, est nécessaire pour passer d'un milieu dans un autre. Seuls les corpuscules qui se présentent à la surface de séparation avec une énergie cinétique supérieure au travail à fournir peuvent gagner l'extérieur, quand ils ne sont pas ramenés par l'attraction de la charge positive qu'ils laissent derrière eux, et leur nombre est infime aux températures ordinaires.

» Ce nombre augmente très vite avec la température par suite de l'agitation intérieure croissante et l'émission croissante de charges négatives qui en résulte constitue le phénomène bien connu sous le nom d'*effet Edison*, qui peut prendre une intensité énorme ainsi qu'il résulte d'expériences de M. Richardson : à la température des filaments de lampes à incandescence, le carbone, moins actif cependant que les métaux, peut émettre sous forme d'électrons jusqu'à 2 ampères par centimètre carré de sa surface, et beaucoup plus encore aux températures élevées que présentent dans l'arc les extrémités des charbons. La théorie actuelle de l'arc invoque ce phénomène dont je souligne ici l'importance.

» Le but que je me propose aujourd'hui est de passer du milieu métallique spontanément dissocié, spontanément conducteur, au milieu gazeux, d'ordinaire isolant, dans lequel peut se produire la décharge disruptive.

» Le passage brutal du courant par décharge disruptive à travers le gaz est lié à la présence dans celui-ci de centres électrisés libres dont nous allons avoir à nous expliquer l'origine et que l'on peut mettre en évidence dans toutes les formes de la décharge, aussi bien lorsqu'il s'agit d'une aigrette qui envoie dans le gaz environnant des ions de son signe, identifiés par M. Chattock avec ceux que produisent les rayons de Röntgen, que lors d'une décharge dans un gaz raréfié, où une expérience déjà ancienne d'Hittorf a montré la possibilité de faire passer un courant parasite sous vol-

tage très faible lorsque le gaz est illuminé par une décharge principale.

» Un tube de verre partiellement vidé (*fig. 1*) portant quatre fils

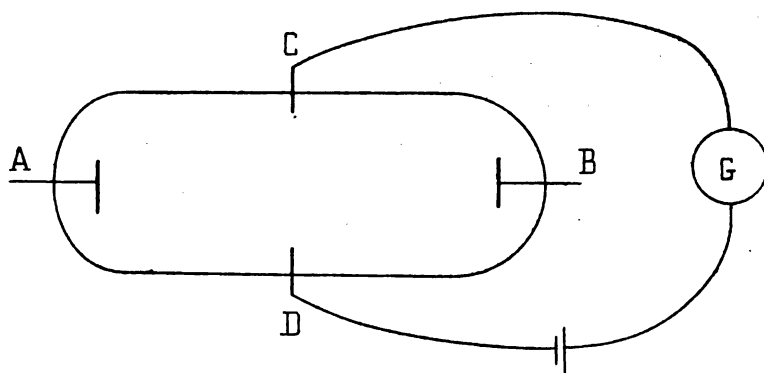


Fig. 1.

de platine soudés dans la paroi ne laisse passer rigoureusement aucun courant sous l'action d'un seul élément de pile entre les deux fils C et D tant que l'on n'a pas, au moyen d'une différence de potentiel élevée, produit une décharge entre A et B. Cette dernière provoque une dissociation abondante du gaz et les ions libérés se déplacent maintenant dans le faible champ entre C et D.

» Cette hypothèse de la présence d'ions en nombre considérable dans un gaz traversé par la décharge disruptive, qui consiste en une circulation de ces ions, a été développée, dès 1884, par M. Schuster qui supposait dans le gaz une dissociation analogue à celle qui se produit dans les électrolytes, en centres chargés, tous de l'ordre de grosseur des atomes. Nous sommes plus renseignés aujourd'hui sur les propriétés des centres, sur le caractère corpusculaire de la dissociation et nous pouvons surtout expliquer la genèse de cette dissociation.

» C'est l'étude de cette genèse, de cette production de centres électrisés dont le déplacement constitue le courant au travers du gaz, que je désire aborder maintenant : toute la théorie actuelle de la décharge est basée sur le *phénomène de dissociation des molécules ou atomes par le choc d'un centre électrisé en mouvement*.

» Le point central, essentiel, est celui-ci : les molécules électriquement neutres d'un gaz peuvent subir la dissociation corpuscu-

laire, telle que la produisent les rayons de Röntgen, en un électron négatif et un résidu chargé positivement, au moment du choc contre elles d'un projectile, centre électrisé positif ou négatif, lancé avec une vitesse d'autant plus grande que le gaz est le siège d'un champ électrique plus intense et que le centre a parcouru librement un trajet plus long, c'est-à-dire que le gaz est plus raréfié.

» La possibilité de cette dissociation, de cette ionisation par les chocs résulte immédiatement de notre connaissance des propriétés possédées par les radiations qu'émettent les substances radio-actives, et du pouvoir ionisant élevé des rayons cathodiques, flux de corpuscules en mouvement très rapide.

..

» On sait, en effet, que le rayonnement émis par les corps radio-actifs peut se décomposer en trois parties nettement différentes par leurs propriétés : une véritable radiation, non déviable par les champs électriques et magnétiques les plus intenses, ne transportant pas de charges électriques, assimilable par tous ses caractères à des rayons de Röntgen extrêmement pénétrants, ne produisant, par suite de sa faible absorption, qu'une conductibilité très faible dans les gaz qu'elle traverse et qu'une faible impression des plaques photographiques; séparable des autres parties par son absence de déviation dans les champs magnétiques intenses, elle a reçu le nom de *rayonnement* γ et ne nous intéresse pas directement ici.

» Les deux autres parties, très inégalement absorbables, sont déviées en sens inverses et très inégalement par les champs électriques et magnétiques, comme le seraient des flux de particules électrisées en mouvement, positives pour l'une des parties et négatives pour l'autre.

» La plus absorbée des deux, dont l'action ionisante ou photographique cesse après le passage à travers quelques centimètres d'air sous la pression normale ou quelques centièmes de millimètre d'aluminium, et dont le sens de déviation correspond au transport de charges positives, a reçu le nom de *rayonnement* α ; toutes ses propriétés la représentent comme consistant en une émission de particules chargées, de masse relativement grande, comme le

montre leur faible déviabilité, et voisine de trois ou quatre fois celle de l'atome d'hydrogène. Rigoureusement, le rapport de leur charge à leur masse déduit de la comparaison de leurs déviations électrique et magnétique est trois ou quatre fois plus faible que pour l'atome d'hydrogène dans l'électrolyse, et leur vitesse est de l'ordre de 20 000 km : s au début, lors de leur émission.

» Leur énergie cinétique initiale est, par suite, relativement énorme, un million de fois plus grande que celle d'une molécule gazeuse à la température ordinaire, et l'on conçoit que le passage à travers la matière de semblables projectiles, tout à fait comparables aux centres positifs que nous avons vu résulter de la dissociation corpusculaire, mais animés de vitesses considérables, s'accompagne de phénomènes violents, en particulier d'une ionisation intense des gaz traversés, au moment de leurs chocs contre les molécules dont ils provoquent la dissociation corpusculaire, qu'ils séparent en fragments électrisés libres de se mouvoir en transportant leur charge au travers du gaz ainsi rendu conducteur.

» La dernière partie, le rayonnement β , est assimilable entièrement aux rayons cathodiques : il transporte des charges négatives, subit dans les champs électrique et magnétique de fortes déviations dont le sens et la grandeur le montrent constitué par un flux d'électrons négatifs, de corpuscules cathodiques, lancés avec des vitesses qui peuvent atteindre 285 000 km : s. Leur passage à travers les gaz y produit une conductibilité qui s'interprète également bien si l'on admet que les particules β peuvent aussi provoquer la dissociation corpusculaire des molécules du gaz qu'elles rencontrent.

» Ces particules α et β ne diffèrent que par leur vitesse des centres positifs et négatifs qu'elles séparent en circulant à travers la matière. N'est-il pas naturel de penser qu'il suffira de communiquer à ces centres une vitesse assez grande, au moyen d'un champ électrique intense par exemple, pour les transformer en véritables rayons α ou β et les rendre capables à leur tour d'ioniser les gaz, de dissocier corpusculairement les molécules au moment de leurs chocs contre elles?

» Cette conséquence naturelle, formulée par MM. J.-J. Thomson et Townsend, est le point de départ essentiel de notre théorie de la décharge disruptive : on conçoit que, dans un champ électrique suf-

fisamment intense, chaque centre électrisé nouvellement formé pouvant à son tour en produire de nouveaux et ainsi de proche en proche, le courant obtenu au travers du gaz peut devenir énorme par rapport à la charge que transportaient les premiers centres, les particules α ou β par exemple, dont tout le mouvement est parti, qui ont servi d'amorce en quelque sorte à tout le phénomène.

» La nécessité d'une semblable amorce comme point de départ de la décharge disruptive est un fait bien connu; on sait, en effet, que les rayons de Röntgen ou ceux du radium régularisent, facilitent la production de l'étincelle. En leur absence, celle-ci est capricieuse, liée en quelque sorte à la production éventuelle de quelques ions amorce par une cause extérieure dont le rôle fut signalé pour la première fois par Hertz lorsqu'il découvrit à la lumière ultra-violette la propriété de régulariser la production des étincelles, en provoquant à la cathode l'émission de charges négatives, nous dirions aujourd'hui des quelques électrons nécessaires. Les rayons de Röntgen et du radium n'ont pas besoin de frapper les électrodes pour jouer un rôle analogue : leur passage à travers le gaz suffit à produire dans celui-ci de quoi déclencher l'étincelle. Nous savons d'ailleurs que de semblables rayonnements sont toujours présents dans l'atmosphère et y produisent en permanence un petit nombre d'ions suffisants d'ordinaire pour rendre l'étincelle possible, quoique irrégulière.

» C'est d'ailleurs un fait bien connu qu'une première décharge, une première étincelle, facilite grandement le passage des suivantes, grâce, dirons-nous, aux ions qu'elle laisse dans le gaz derrière elle et qui peuvent de nouveau servir de premiers projectiles. Quelquefois aussi, comme nous le verrons, leur nombre est suffisant pour leur permettre, par les accumulations de charges qui résultent de leur déplacement dans le gaz, de modifier la répartition du champ et de donner à celui-ci, dans certaines régions et principalement au voisinage de la cathode, une intensité suffisante pour faire partir la décharge sous une différence de potentiel d'ordinaire insuffisante. Mais c'est là un second mécanisme complètement distinct du premier que je veux seul examiner d'abord.

» La théorie fondamentale de l'ionisation par les chocs est donc à peine une hypothèse, puisqu'elle résulte immédiatement des pro-

priétés connues aux particules α et β du radium et de l'identité de ces particules avec les centres électrisés qui résultent de la dissociation corpusculaire des molécules gazeuses. Voyons maintenant comment cette théorie se trouve dans ses détails justifiée par les faits, de manière qualitative et quantitative.

» Notre examen de ses conséquences se trouve partagé de manière naturelle en trois parties : la première est relative à la production de la décharge disruptive, aux causes qui la font s'établir, à la question des potentiels explosifs que nous allons pouvoir résoudre de manière complète avec M. Townsend, en suivant la manière dont varie le courant au travers d'un gaz ionisé à mesure qu'on augmente l'intensité du champ électrique.

» Puis, une fois la décharge disruptive établie, nous aurons à la suivre dans ses aspects variés que nous pourrons grouper en deux catégories, d'après les phénomènes qui se passent à la cathode, l'étincelle dans ses formes multiples et l'arc électrique.

» Cherchons tout d'abord à comprendre pourquoi, lorsqu'un champ électrique suffisamment intense existe dans un gaz, le courant qui passe peut devenir énorme par rapport à celui que transporteraient les quelques ions amorce dont nous avons reconnu la présence nécessaire. Pourquoi se produit-il brusquement un phénomène nouveau lorsque le champ atteint une valeur critique, lorsque la différence de potentiel entre les électrodes devient le potentiel explosif?

» Rappelons tout d'abord, pour les retrouver ensuite par notre théorie, les lois essentielles du phénomène dans le cas particulièrement simple de deux plateaux métalliques parallèles entre lesquels le champ est uniforme tant que l'étincelle ne s'est pas établie. L'expérience conduit à une loi remarquablement simple, la loi de Paschen, lorsqu'on suppose variables à la fois la distance a des plateaux et la pression p du gaz interposé.

» *A priori*, pour un gaz donné, le potentiel explosif V est une fonction de ces deux variables indépendantes, que la loi de Paschen nous permet de remplacer par une fonction d'une seule variable, le produit des deux précédentes.

» Pour un gaz donné, le potentiel explosif entre deux plateaux parallèles dépend uniquement du produit de la distance des plateaux par la pression du gaz, c'est-à-dire du nombre des molécules, de la masse du gaz interposé pour une surface donnée des plateaux. Si l'on fait varier la distance de ceux-ci en comprimant ou en dilatant le gaz interposé, le potentiel explosif ne change pas.

» Sous cette forme, l'énoncé est susceptible de généralisation, comme l'ont montré les expériences de M. Bouty sur la cohésion diélectrique, sur le champ nécessaire pour faire jaillir une décharge lumineuse dans le gaz renfermé entre deux lames isolantes : pour une masse déterminée du gaz comprise entre ces lames, le champ disruptif est indépendant de la température T , de sorte que, si

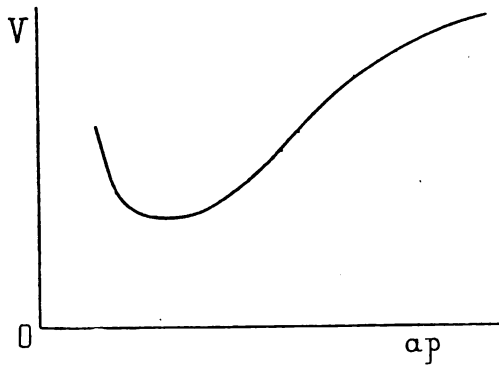


Fig. 2.

celle-ci est mesurée à partir du zéro absolu, la loi de Paschen ainsi généralisée s'exprime, en vertu de la loi de Gay-Lussac, par la formule

$$V = f\left(\frac{ap}{T}\right),$$

V dépend seulement du nombre des molécules interposées. Laissant de côté pour l'instant les variations de température, nous prendrons la loi sous la forme

$$V = F(ap),$$

où elle est vérifiée par l'expérience d'une manière remarquable. La fonction F est représentée par une courbe analogue à celle de la figure 2 qui met en évidence un minimum très net du potentiel explosif, égal environ à 340 volts dans l'air, pour une valeur conve-

nable du produit ap . De là résulte que, pour des distances ou des pressions très faibles, la décharge devient extrêmement difficile à produire, le potentiel explosif augmentant indéfiniment à mesure que l'un des deux facteurs a ou p tend vers zéro.

» Ce fait est confirmé par une expérience déjà ancienne d'Hittorf où la décharge traverse plus facilement plusieurs centimètres d'air qu'un millimètre dans un vide élevé. Voici un tube à gaz raréfié où deux électrodes arrivent à 1 mm environ l'une de l'autre et où la décharge, au lieu de franchir ce très court intervalle, préfère prendre un chemin plusieurs centaines de fois plus long en suivant un tube plusieurs fois contourné pour passer d'une électrode à l'autre, un accroissement du chemin a correspondant ici, dans la portion descendante de la courbe de Paschen, à une diminution du potentiel explosif.

» Notre théorie, qui attribue aux chocs contre les molécules du gaz le rôle essentiel, nous fait déjà pressentir ce résultat puisqu'aux vides élevés ou aux faibles distances un projectile pourra traverser d'un plateau jusqu'à l'autre sans rencontrer de molécules, c'est-à-dire sans créer d'ions nouveaux, d'où grande difficulté à l'établissement de la décharge disruptive.

» Pour retrouver complètement ces lois, il nous faut suivre avec M. Townsend le phénomène d'ionisation par chocs dans des champs électriques d'intensité croissante, en étudiant la manière dont varie avec la différence de potentiel le courant produit entre deux plateaux parallèles par une substance radioactive ou par de la lumière ultra-violette éclairant le plateau négatif.

» Dans cette cloche (*fig. 3*) mastiquée sur un plateau métallique AB, percé d'une ouverture centrale que ferme une lame d'aluminium mince, se trouve de l'air sous une pression d'environ 5 mm de mercure. Une substance radioactive R rend conducteur le gaz et nous allons mesurer le courant qu'elle produit entre AB et un plateau parallèle CD, porté à un potentiel différent au moyen d'une batterie d'accumulateurs P, de force électromotrice V . Le courant est mesuré par un électromètre à quadrants dont l'aiguille est chargée par une batterie P' et dont les deux paires de quadrants, primitivement au même potentiel, peuvent être séparées au moyen d'une clef. Les charges qui continuent à arriver à CD après cette

séparation, par suite du courant qui traverse le gaz, modifient le potentiel de la paire de quadrants reliée à CD et l'électromètre dévie avec une vitesse proportionnelle à l'intensité du courant.

» Ce courant est d'abord nul en l'absence de champ, pour $V = 0$, puis augmente rapidement avec V pour prendre une valeur qui reste constante lorsque V varie depuis quelques volts jusqu'à 300 volts environ. Cette valeur constante représente le courant de saturation, correspond à l'arrivée sur les plateaux de la totalité des ions libérés dans le gaz par la substance radioactive.

» Mais, après ce palier extrêmement prolongé, la courbe repré-

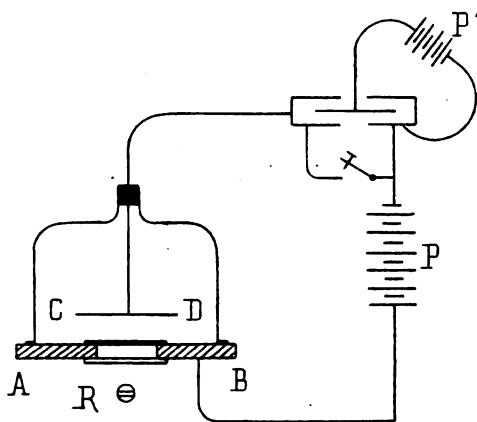


Fig. 3.

sentant le courant i en fonction de V se remet à monter extrêmement vite, à la manière d'une exponentielle lorsque je continue à augmenter le champ et, pour 700 volts entre les plateaux, i est déjà dix ou vingt fois plus grand que le courant de saturation. C'est l'ionisation par chocs qui commence à intervenir, les centres électrisés libérés par la radiation extérieure, au lieu d'arriver seuls aux plateaux, prennent maintenant dans le champ, entre deux chocs contre les molécules, une vitesse suffisante pour avoir quelque chance de dissocier celles-ci, et s'accompagner de centres nouveaux ou des descendants que ceux-ci produisent à leur tour.

» Pour soumettre cette hypothèse à une vérification quantitative, M. Townsend suppose tout d'abord, comme nous le vérifierons tout à l'heure, que les centres négatifs, les corpuscules cathodiques,

commencent les premiers à démolir les molécules rencontrées. Cela paraîtra naturel si l'on réfléchit qu'ils sont de dimensions et de masse plus petits que les positifs, que leur libre parcours moyen entre les molécules est plus long, que le même champ leur communique par suite une énergie plus grande, leur charge étant la même en valeur absolue, et une vitesse relativement beaucoup plus grande encore en raison de leur faible masse, la vitesse acquise entre deux chocs étant au moins cent fois plus grande pour ces balles négatives que pour les gros boulets positifs. Et dans les champs pas trop intenses, ce sont les balles qui commenceront les premières à agir, reprenant pendant un libre parcours, sous l'action du champ, l'énergie cinétique perdue dans le choc qui l'a précédé; d'autre part, l'action du champ l'emportant de beaucoup sur l'agitation thermique, le mouvement du centre électrisé se fait sensiblement dans la direction des lignes de force.

» Le long d'un centimètre, dans la direction de celles-ci, l'électron négatif subit contre les molécules un certain nombre de chocs dont une partie au moins sera suivie de dissociation. Soit α le nombre de ces dissociations, le nombre de nouveaux ions de chaque signe qu'un centre négatif produit le long d'un centimètre de parcours. Nous pouvons, en fonction de ce nombre, calculer l'accroissement du courant qui résulte de l'ionisation par les chocs. Soit i_0 le courant de saturation, i le courant total résultant de la superposition des ions nouveaux à ceux que la radiation libère directement; on démontre facilement la relation

$$(1) \quad \frac{i}{i_0} = \frac{e^{\alpha a} - 1}{\alpha a},$$

a étant la distance des plateaux.

» Il suffit pour cela de remarquer que, si N est le nombre des centres négatifs qui, par unité de temps, traversent l'unité de surface d'un plan parallèle aux plateaux à distance x de CD, en se dirigeant vers AB par exemple (*fig. 4*), ce nombre s'augmente quand on passe à un plan infiniment voisin à distance dx , des ions négatifs nouveaux en nombre $\alpha \, dx$ produits dans la tranche d'épaisseur dx par les N projectiles; en y joignant d'ailleurs les centres libérés dans cette même tranche par la radiation extérieure, en

nombre $q \, dx$, il vient

$$\frac{dN}{dx} = q + \alpha N.$$

» L'intégration de cette équation différentielle où α est constant et où q peut être une fonction quelconque de x si la radiation n'agit pas de manière uniforme, conduit bien à la formule indiquée si

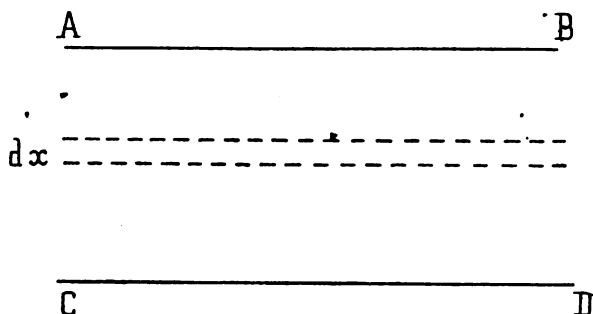


Fig. 4.

l'on remarque que le courant de saturation i_0 est proportionnel à $\int_0^a q \, dx$ et que le courant i est proportionnel à la valeur de N pour $x = a$ tandis que N est nul pour $x = 0$.

» La mesure des courants i et i_0 permet de calculer α par application de la formule (1). Cette constante α dépend évidemment de la pression p du gaz et de l'intensité du champ $X = \frac{V}{a}$.

» La figure 5 donne quelques courbes expérimentales représentant la variation de i avec X dans la région du relèvement rapide, après le palier prolongé qui correspond à la saturation. Les distances des plateaux ont été successivement 2 cm, 1 cm et 5 mm.

» On peut ainsi avoir une série de valeurs de α pour diverses valeurs de X et de p et vérifier d'abord comme l'a fait M. Townsend que, pour X et p constants, α reste le même quelle que soit la distance a .

» On retrouve les mêmes valeurs de la constante α si on s'adresse pour produire les premiers centres à la lumière ultra-violette au lieu du radium. Ici les centres amorce, au lieu de prendre naissance dans la masse du gaz, partent uniquement du plateau négatif en nombre correspondant à l'intensité i_0 et l'équation différentielle se

réduit à

$$\frac{dN}{dx} = \alpha N,$$

d'où

$$\frac{i}{i_0} = e^{\alpha x}$$

et de là un second moyen pour obtenir α en mesurant i , i_0 et α .

» Une importante confirmation de la théorie peut se déduire de l'ensemble des valeurs obtenues pour α en fonction de X et de p grâce à la remarque suivante.

» La probabilité pour qu'un choc du centre électrisé contre une

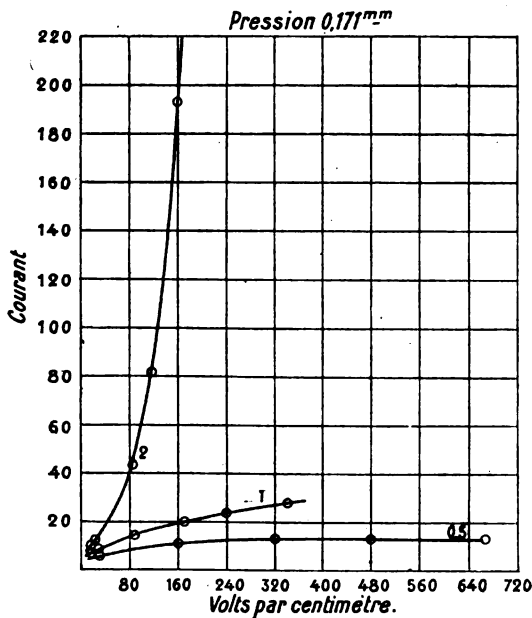


Fig. 5

molécule soit suivi de dissociation est mesurée par le rapport du nombre α des dissociations au nombre $\frac{1}{\lambda}$ des chocs le long de 1 cm, λ mesurant le libre parcours moyen du projectile entre deux chocs. La probabilité est donc $\alpha\lambda$. Mais elle est évidemment déterminée par l'énergie cinétique possédée par le projectile au moment du choc, c'est-à-dire par le travail que lui fournit le champ le long d'un libre parcours. Si e est la charge du projectile, ce travail est $Xe\lambda$. Donc $\alpha\lambda$ est une fonction de $Xe\lambda$.

» Ou encore, comme λ varie en raison inverse du nombre des molécules gazeuses, c'est-à-dire en raison inverse de la pression pour un gaz donné, on peut conclure de ce raisonnement que

$$\frac{\alpha}{p} = f\left(\frac{X}{p}\right),$$

résultat que l'expérience vérifie entièrement. Portons en abscisses le quotient $\frac{X}{p}$, en ordonnées les valeurs correspondantes obtenues pour $\frac{\alpha}{p}$; tous les points obtenus (fig. 6) se placent sur une même

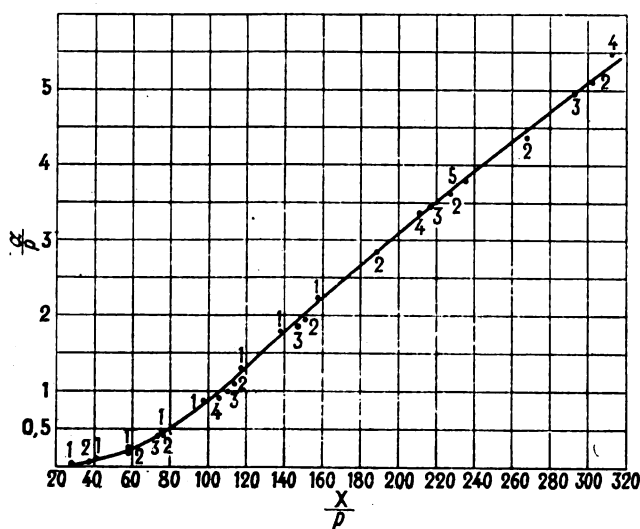


Fig. 6.

courbe, représentative de la fonction f .

» Cette conséquence de la théorie est importante à un double point de vue : elle nous fournit d'abord un criterium remarquable, une confirmation expérimentale nouvelle, et va nous permettre plus loin de retrouver la loi de Paschen, de prévoir théoriquement la relation donnée par l'expérience entre les potentiels explosifs, la distance et la pression.

» La facilité plus grande avec laquelle les centres négatifs commencent à provoquer la dissociation au moment des chocs peut être établie par une expérience simple où, contrairement à ce qui se produit dans celle des plateaux parallèles, le courant obtenu à travers le gaz change avec le sens du champ.

» Un tube d'aluminium mince porte, suivant son axe (*fig. 7*), un

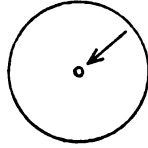


Fig. 7.

fil métallique isolé et relié à un électromètre comme l'était tout à l'heure le plateau CD. Le champ créé par une différence de potentiel entre le fil et le tube est inversement proportionnel à la distance à l'axe, et par suite beaucoup plus intense dans la région centrale qu'à la périphérie. Si ce champ est d'un sens tel que les centres négatifs se dirigent vers le fil et traversent ainsi tous la région de champ intense capable de provoquer la dissociation par chocs, le courant obtenu sera notablement plus intense que si l'on inverse le sens du champ sans changer sa grandeur, et si seuls les centres négatifs qui y sont produits traversent la région de champ intense.

» L'expérience vérifie en effet qu'on obtient un courant plusieurs fois plus intense, toutes choses étant égales d'ailleurs, lorsque le tube d'aluminium est négatif que lorsqu'il est positif.

» Le calcul complet confirme entièrement le raisonnement qui précède et que je vérifie expérimentalement devant vous.

» Mais au delà d'un certain champ il devient nécessaire de supposer que les centres positifs entrent en jeu à leur tour, que les boulets, plus lents à ébranler, peuvent aussi provoquer la dissociation, comme on sait que le font les projectiles positifs du radium, en produisant par unité de longueur β centres nouveaux de chaque signe.

» M. Townsend a montré en effet que l'introduction de la seule constante α ne suffit pas à représenter complètement les faits, quand le champ devient très intense, qu'il ne suffit pas de supposer aux électrons négatifs seuls le pouvoir d'ioniser, et que les centres positifs jouent aussi un rôle, que nous allons voir essentiel pour expliquer la discontinuité du potentiel explosif.

» Si P est le nombre des centres positifs qui, par unité de temps, traversent l'unité de surface à distance x du plan CD, le nombre

d'ions de chaque signe produits par les chocs dans la **tranche** dx est

$$(\alpha N + \beta P) dx,$$

d'où les équations différentielles pour déterminer N et P :

$$(2) \quad \frac{dN}{dx} = \alpha N + \beta P + q,$$

$$(3) \quad -\frac{dP}{dx} = \alpha N + \beta P + q.$$

Le signe — correspondant au changement de sens du déplacement quand on passe des centres négatifs **aux positifs**. Ces équations s'intègrent immédiatement si l'on remarque que leur soustraction donne

$$\frac{d(N+P)}{dx} = 0 \quad N+P = \text{const.}$$

» La somme $N+P$ est constante et proportionnelle au courant total i qui traverse le gaz comme i_0 , le courant de saturation, est proportionnel à $\int_0^a q dx$.

» L'intégration des équations (2) et (3) conduit ainsi par un calcul simple à la formule

$$(4) \quad \frac{i}{i_0} = \frac{e^{\alpha(\alpha-\beta)} - 1}{\alpha - \beta e^{\alpha(\alpha-\beta)}},$$

dans le cas où q est supposé constant, où l'ionisation provoquée par la cause extérieure est supposée uniforme dans l'intervalle des plateaux. S'il en est autrement, la formule (4) est remplacée par une autre un peu plus complexe, *mais où le dénominateur reste le même*. Il en est encore ainsi dans le cas où l'amorce est produite par la lumière ultra-violette agissant sur le plateau négatif; il vient par un calcul analogue au précédent, mais où q est supposé nul,

$$\frac{i}{i_0} = \frac{(\alpha - \beta) e^{\alpha(\alpha-\beta)}}{\alpha - \beta e^{\alpha(\alpha-\beta)}}.$$

» M. Townsend a montré qu'une série de mesures faites en laissant X et p constants, mais en faisant varier a , se représente très bien au moyen des formules précédentes qui renferment deux constantes α et β . Le raisonnement fait plus haut pour α s'applique aussi bien à β et conduit à représenter les variations de α et β en

fonction de X et p par des relations de la forme

$$\frac{\alpha}{p} = f\left(\frac{X}{p}\right), \quad \frac{\beta}{p} = g\left(\frac{X}{p}\right).$$

∴

» Pour de faibles valeurs du champ, α est très grand par rapport à β , et le dénominateur commun à toutes les formules analogues à (4) se réduit à α . Le rapport $\frac{i}{i_0}$ est fini.

» Mais une discontinuité se produit lorsque, X augmentant, β cesse d'être nul, lorsque les centres positifs ionisent à leur tour. Le rapport $\frac{i}{i_0}$ peut, en effet, devenir infini, le courant dans le gaz peut être hors de proportion avec son amorce si le dénominateur devient nul, si le champ est tel que

$$\alpha - \beta e^{a(\alpha - \beta)} = 0,$$

$$(5) \quad a = \frac{1}{\alpha - \beta} \log \frac{\alpha}{\beta}.$$

» Autrement dit, lorsque cette condition est remplie, l'ionisation par chocs, commencée grâce à l'amorce, suffit à elle seule à maintenir un courant à travers le gaz, les centres négatifs qui ionisent le gaz par chocs dans la tranche dx et qui se dirigent par exemple vers AB (*fig. 4*) avec les nouveaux centres négatifs qu'ils produisent, sont constamment renouvelés par ceux que créent entre la cathode CD et la tranche dx les centres positifs mobiles en sens inverse. La décharge disruptive est établie, l'ionisation par chocs se suffit à elle-même et l'on peut supprimer l'amorce, la radiation extérieure nécessaire seulement au début pour produire les premiers centres.

» On voit qu'il est nécessaire pour en arriver là de supposer aux centres des deux signes, quoique de manière inégale, la propriété d'ioniser par chocs. Si les ions négatifs seuls agissent dans la tranche dx , les nouveaux projectiles qu'ils produisent se déplacent avec eux vers le plateau AB et, pour maintenir le phénomène dans la tranche dx , il faut qu'une cause extérieure produise des centres négatifs entre la cathode CD et la tranche; le courant cesse en même temps que cette cause extérieure disparaît, la décharge disruptive n'est pas possible.

» Pour une distance déterminée a nous pouvons calculer par la formule (5) le champ disruptif correspondant, puisque les mesures du courant nous ont fait connaître α et β en fonctions de X . Ou encore il suffit, pour un champ donné X , de mesurer le rapport $\frac{i}{i_0}$ pour deux valeurs assez petites de la distance auxquelles le champ n'est pas encore disruptif, pour en déduire α et β , et, par suite, la distance a à partir de laquelle ce champ deviendra disruptif, et par suite le potentiel explosif $V = aX$ pour cette distance.

» Les valeurs ainsi prévues par M. Townsend s'accordent d'une manière remarquable avec les faits, ainsi que le montrent les deux Tableaux suivants, relatifs l'un à l'air et l'autre à l'hydrogène; X représente le champ en volts par centimètre, p la pression en millimètres de mercure, aX le potentiel explosif calculé et V le potentiel mesuré.

Air. — *Potentiels disruptifs.*

X .	p .	a .	aX .	V .
1050.....	8	0,765	803	803
1400.....	8	0,431	601	603
1050.....	6	0,572	601	604
700.....	4	0,871	610	615
1050.....	4	0,454	477	480
525.....	2	0,91	481	488
700.....	2	0,575	403	407
350.....	1	1,13	395	398
437.....	1	0,832	364	365
350.....	0,66	0,965	338	340
437.....	0,66	0,766	335	336

HYDROGÈNE. — *Potentiels disruptifs.*

X .	p .	a .	aX .	V .
1050.....	20	0,643	675	675
875.....	16	0,710	621	619
1050.....	16	0,463	485	490
700.....	12	0,791	555	561
1050.....	12	0,353	370	389
525.....	8	0,927	486	487
700.....	8	0,57	399	395
1050.....	8	0,306	322	322
350.....	4	1,14	399	395
525.....	4	0,613	322	323
700.....	4	0,405	283	282
350.....	2	0,810	283	287
525.....	2	0,501	269	273
350.....	1	0,806	282	289

» De plus, la relation établie par (5) entre la distance a et le champ disruptif satisfait à la loi de Paschen si l'on tient compte de la manière dont α et β dépendent de X et de p . X étant égal à $\frac{V}{a}$, on a

$$\frac{\alpha}{p} = f\left(\frac{V}{ap}\right), \quad \frac{\beta}{p} = \varphi\left(\frac{V}{ap}\right),$$

et, en substituant dans (5),

$$a = \frac{1}{p} F\left(\frac{V}{ap}\right),$$

ou enfin

$$V = \Phi(ap),$$

conformément à la loi de Paschen.

» Si nous prenons les nombres contenus dans le Tableau précédent relatif à l'air, et si, portant ap en abscisses, nous portons V ou aX en ordonnées, la courbe obtenue (*fig. 8*) passe par tous

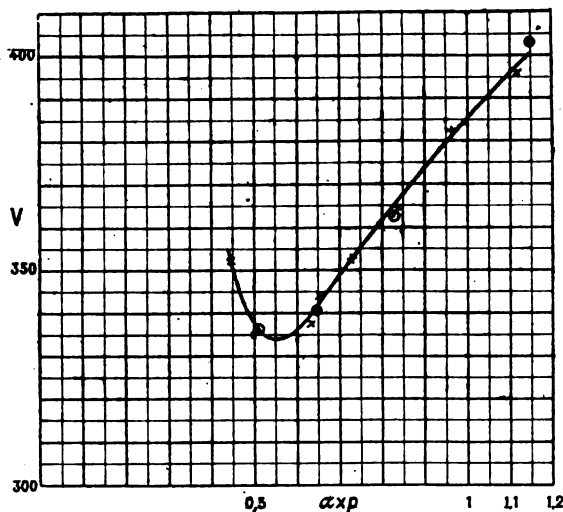


Fig. 8.

les points et présente le minimum signalé au début.

» Nous aboutissons ainsi à la solution complète du premier de nos problèmes; nous suivons d'assez près le mécanisme du phénomène pour comprendre la raison du potentiel explosif, pour comprendre comment à un moment donné, pour une intensité suffisante du

champ, l'ionisation par les chocs suffit à elle seule, grâce à l'intervention simultanée des projectiles positifs et négatifs, pour maintenir un courant au travers du gaz sans intervention de l'amorce nécessaire au début.

» Le courant disruptif établi, il résulte du nombre énorme d'ions maintenant présents dans le gaz des accumulations de charges, principalement au voisinage des électrodes; la répartition du champ s'en trouve modifiée, et la différence de potentiel nécessaire pour maintenir le courant n'est pas nécessairement celle qu'il a fallu pour l'établir alors que le champ était uniforme entre plateaux parallèles. Il suffit que le champ prenne, au voisinage de la cathode, l'intensité nécessaire à provoquer l'ionisation par les centres positifs, pour assurer ainsi le renouvellement, entre la cathode et l'anode, des centres négatifs capables de dissocier le gaz dans un champ moins intense. Une différence de potentiel inférieure au potentiel disruptif pourra maintenir ainsi la décharge dans le gaz.

» Pour vous montrer combien cette théorie pénètre dans le détail des faits, je voudrais vous montrer une dernière expérience, de caractère assez paradoxal, mais néanmoins facile à interpréter.

» Nous avons vu que le tube de la figure 7, soumis à l'action d'une matière radioactive, fournit un courant plus intense pour la même différence de potentiel quand le tube est chargé négativement par rapport au fil que dans le sens inverse. Cependant, si nous augmentons cette différence de potentiel, la décharge disruptive s'établit le plus facilement lorsque le tube est positif, dans le sens qui, auparavant, donnait le courant le moins intense, de sorte qu'à partir de ce moment le sens du courant le plus intense est inversé.

» Ceci s'explique aisément si nous remarquons que la condition nécessaire pour l'établissement de la décharge disruptive, l'intervention des centres positifs dans l'ionisation par les chocs, se trouvera plus facilement réalisée lorsque tous les ions positifs produits par la radiation extérieure se dirigeront vers le fil, traverseront la région de champ intense, c'est-à-dire lorsque le tube sera positif.

» Un calcul plus complet vérifie encore cette particularité de l'expérience si l'on utilise les valeurs trouvées par M. Townsend pour α et β en fonction du champ.

» Le problème du potentiel explosif semble ainsi complètement

résolu par la connaissance des fonctions α et β , introduites par l'hypothèse de l'ionisation par les chocs.

» La même hypothèse permet, quoique ses conséquences n'aient encore pu être poussées aussi loin à cause de la complexité plus grande des conditions, de représenter aussi ce qui se passe une fois la décharge disruptive établie, d'étudier le mécanisme de l'étincelle et de l'arc électriques.

» Je demande à la Société la permission de remettre à une Communication prochaine l'examen de ces importantes questions. »



BIBLIOGRAPHIE.

Traité pratique de Mécanique et d'Électricité industrielles,
par Georges CAYE et A. SAILLARD. Deuxième Partie : Moteurs (*suite*).

Ce Volume débute (6^e Chapitre, II^e Partie de l'ensemble de la Publication) par l'étude des moteurs à gaz auxquels une centaine de pages descriptives de la préparation des gaz et des divers organes des moteurs est consacrée.

La troisième Partie traite de l'Électricité de façon un peu sommaire. Comme dans la plupart des Ouvrages de ce genre, l'auteur s'impose la tâche de rappeler les principes généraux et de définir les unités. Ce soin exige une attention particulière dans l'énoncé des définitions pour que celles-ci conservent avant tout une rigoureuse exactitude; c'est là une difficulté qui se résout bien souvent en écueils auxquels n'échappe pas le présent Ouvrage, même dans l'*errata*.

Toute la théorie et la pratique de l'Électricité, la description des générateurs et moteurs à courant continu et alternatif, l'éclairage, les fours électriques et la galvanoplastie n'occupent ensemble que 120 pages; ce cadre si vaste s'accommode mal d'un volume aussi restreint.

La quatrième Partie traite, dans le même genre, des machines-outils, des appareils de levage et de l'installation des ateliers.

Une annexe contient utilement le décret relatif à l'hygiène et à la sécurité du travail.

Les matières éclairantes et leur utilisation : bougies, huiles, pétroles, gaz d'éclairage, acétylène, alcools et lusol, charbon et métaux, par H. PÉCHEUX.

Ce petit Volume est un exposé au courant des plus récentes découvertes relatives à l'éclairage et de leurs applications à l'industrie et à l'économie domestique.

Pour guider dans les comparaisons, M. Pécheux rappelle d'abord les définitions physiques indispensables à la compréhension de la question en caractérisant les matières propres à l'éclairage; il passe ensuite en revue succinctement les méthodes de mesures et l'établissement du prix de revient dans les divers cas.

Chacune des matières utilisées aujourd'hui pour l'éclairage est examinée, eu égard à la préparation ou à l'extraction, aux propriétés particulières qui la concernent, au mode d'utilisation et aux appareils de combustion eux-mêmes.

L'Ouvrage présente bien le caractère qu'on peut désirer pour un élément d'une Publication encyclopédique; à ce titre il constitue un document qui ne manque pas d'être instructif.

L'éditeur a été bien inspiré en intercalant dans son Encyclopédie technologique et commerciale la question des matières éclairantes et en confiant à M. Pécheux le soin de la traiter.

Les quantités élémentaires d'Électricité. Ions, électrons, corpuscules, Mémoires réunis et publiés par H. ABRAHAM et P. LANGEVIN, sous les auspices de la Société française de Physique, 2 vol. format 25 × 16, de xvi-1144 pages, avec de nombreuses figures et planches. Paris, Gauthier-Villars, éditeur, 1905.

La Société française de Physique, en décidant la publication des nombreux Mémoires réunis dans les deux magnifiques Volumes que nous présentons aujourd'hui, a continué le grand mouvement scientifique commencé par elle, en 1884, et qui a pour titre général *Collection de Mémoires sur la Physique*.

Cette belle collection s'enrichit aujourd'hui, avec le Tome VI, des Mémoires originaux français et étrangers traitant des ions, des électrons et des corpuscules. MM. Abraham et Langevin, qui se sont chargés de cette grande entreprise, ont eu l'heureuse pensée de dédier les deux Volumes actuels à M. A. Potier, rendant ainsi un hommage posthume au grand savant qui avait accepté de diriger cette publication comme les précédentes.

Comme le disent MM. Abraham et Langevin dans leur *Avertissement* « la notion de structure discontinue des charges électriques domine et pénètre la plupart des découvertes récentes en Physique; cette forme nouvelle des conceptions atomistiques sert maintenant de guide à beaucoup de chercheurs ».

C'est pour faciliter les recherches des Physiciens français qu'ont été réunis et traduits les présents Mémoires.

Nous ne pouvons reproduire ici les titres de ces Mémoires, cela nous entraînerait trop loin, aussi nous contenterons-nous de citer les noms d'auteurs :

Max Abraham, John Aritken, H. Becquerel, L. Benoit et D. Hurmuzescu, E. Bloch, H. Buisson, A.-P. Chattock, Coulier, William Crookes, M. et M^{me} Curie, H. Deslandres, Goldstein, S. Arrhénius, Edison, Elster et Geitel, P. Ewers, W. Giese, F. Giesel, Helmholtz, Richarz, Hertz, Hittorf, Hurst et Townsend, W. Kaufmann, Kirby, Langevin, Larmor, Lenard, Lorentz, Mac Clelland, Mac Clung, E. Marx, Pellat, Perrin, Plucker, H. Poincaré, Richardson, Riecke, Rutherford, Sagnac, Schuster, Simon, Stark, J.-J Thomson, Villard, Wiedemann, Ebert, Wien, Wilson et Harold, Zeleny.

La liste en est longue et montre que les Mémoires ont été classés par ordre alphabétique des noms de leurs savants auteurs. Les deux Volumes forment ainsi une sorte de dictionnaire où l'on trouvera facilement les travaux auxquels on désire se reporter. Malgré l'importance de ces deux Volumes (1144 p.), MM. Abraham et Langevin se sont trouvés dans un cadre trop étroit; ils ont dû se borner à n'indiquer que le strict nécessaire et restreindre les applications au minimum.

Ce défaut de place a obligé également les auteurs à passer presque sous silence un certain nombre de théories relatives au magnétisme, à la réfraction, aux phénomènes magnéto-optiques, etc.

Quoi qu'il en soit de ces lacunes on ne peut que féliciter la Société de Physique d'avoir entrepris cette double publication et remercier MM. Abraham et Langevin de l'avoir menée à bien.

Les électriciens seront les premiers à s'intéresser à ces travaux qui permettent d'entrevoir une conception plus parfaite des phénomènes qu'ils ont journellement sous les yeux.

Traité pratique d'Électrochimie, par R. LORENZ, refondu d'après l'édition allemande par G. Hostelet, 1 vol. 23 × 14, 323 pages avec 75 figures. Paris, Gauthier-Villars, éditeur, 1905.

Cet Ouvrage est destiné à la première éducation des électrochimistes qui ne peuvent se plonger d'emblée dans les grands Traités. Il comprend trois Parties, débutant chacune par une Introduction.

Après avoir exposé les notions générales indispensables, l'auteur énonce les lois fondamentales et décrit les instruments nécessaires aux diverses manipulations présentées sous forme d'exercices. Comme application de ces premiers principes on trouve ensuite les renseignements nécessaires pour préparer les nombreux produits que l'on peut obtenir par voie électrochimique.

La deuxième Partie est théorique; elle étudie les phénomènes de dissociation électrolytique des solutions aqueuses, les forces électromotrices de polarisation, etc. Des exemples suivent, dans chaque cas, les explications théoriques et permettent de se les bien assimiler.

L'Électrochimie appliquée fait l'objet de la troisième Partie. Les applications sont de deux espèces : 1° l'analyse chimique par électrolyse; 2° la fabrication électrochimique de nombreux composés. Comme dans les autres Parties, des exemples accompagnent les enseignements et contribuent à faire de ce Volume un Ouvrage essentiellement pratique.

Les données numériques, coefficients, Tables, etc., indispensables aux calculs, sont réunis dans un Appendice qui complète cet excellent Traité, que tout débutant en Électrochimie devra posséder à fond avant de poursuivre plus loin ses études.



LISTE DES OUVRAGES

OFFERTS A LA SOCIÉTÉ INTERNATIONALE DES ÉLECTRICIENS.

(Suite.)

La Bibliothèque est ouverte aux Membres de la Société, tous les jours
de 2 heures à 5 heures, excepté les dimanches et jours de fêtes,
12, rue de Staël.

France.

- Année (L') électrique, électrothérapique et radiographique*, par le Dr FOVEAU DE COURMELLES. Sixième année. Paris, Ch. Béranger, 1906; un vol. in-12 broché. (Don de l'éditeur.)
- Établissements de MM. Schneider et Cie*. D'après l'Ouvrage publié en Angleterre par M. James DREDGE, C. M. G. Nevers, imprimerie Mazaron frères, 1902; un vol. grand in-folio relié. (Don de MM. Schneider et Cie.)
- Manuel de la fabrication des accumulateurs*, par F. GRUNWALD. Première édition française, traduite sur la 8^e édition allemande par Paul GRÉGOIRE. Paris, H. Desforges, 1906; un vol. in-12 broché. (Don de l'éditeur.)
- Ministère du Commerce, de l'Industrie, des Postes et Télégraphes : *Exposition universelle de Saint-Louis, U. S. A., 1904. Section française. Rapport de la Classe 74*, par H. DE GRIÈGES. Paris, imprimerie Hénon, 1905; un vol. grand in-8 broché. (Don de l'auteur.)
- Procédés (Les) de commande à distance au moyen de l'électricité*, par Régis FRILLEY. Paris, Gauthier-Villars, 1906; un vol. in-16 broché (Collection des Actualités scientifiques). (Don de l'éditeur.)
- Sur les électrons*. Conférence faite à l'Institution of Electrical Engineers par Sir Olivier LODGE, traduite de l'anglais par E. NUGUES et J. PÉRIDIER. Préface de P. LANGEVIN. Paris, Gauthier-Villars, 1906; un vol. in-16 broché (Collection des Actualités scientifiques). (Don de l'éditeur et des auteurs.)
- Table des intérêts composés. Annuités et amortissements*, par A. ARNAUDEAU. Paris, Gauthier-Villars, 1906; un vol. in-4 broché. (Don de l'éditeur.)
- Télégraphes (Les) en Europe. Leur état actuel en 1905 d'après des documents officiels*, par Émile GUARINI. Paris, Veuve Dunod; Liège, impri-

merie H. Poncelet, [s. d.], 1906; une brochure in-8. (*Don de M^{me} Veuve Dunod.*)

Étranger.

Étude économique et technique de la traction mécanique des bateaux par les procédés américains. Extraits du Rapport présenté au 10^e Congrès de Navigation de Milan, 1905, par St. John CLARKE et Léon GÉRARD. Bruxelles, imprimerie F. Vanbuggenhoudt [s. d.], 1906; une brochure in-8. (*Don de M. Gérard.*)

Halage électrique des bateaux. Notice sur les expériences relatives aux tracteurs à adhérence proportionnelle, par Léon GÉRARD. Bruxelles, imprimerie F. Vanbuggenhoudt, [s. d.], 1906; une brochure in-8. (*Don de M. L. Gérard.*)

Manuel abrégé du répertoire bibliographique universel. Bruxelles, Institut international de Bibliographie, 1905; un vol. in-8 broché. (*Don de l'Institut international de Bibliographie.*)

Ministère de l'Intérieur canadien : *Rapport de la Commission nommée pour étudier les divers procédés électrothermiques pour la réduction des minerais de fer et la fabrication de l'acier employés en Europe.* Ottawa (Canada), 1905; un vol. in-8 broché. (*Don de M. Gin.*)



BULLETIN
DE LA
SOCIÉTÉ INTERNATIONALE
DES
ÉLECTRICIENS.

SOMMAIRE.

Admissions, p. 98. — Liste des Candidats pour le renouvellement partiel du Comité d'Administration, p. 98. — Recherches récentes sur la décharge disruptive; l'étincelle et l'arc électriques (M. **Langevin**), p. 100. — Sur l'utilité et les moyens d'éviter les harmoniques dans les appareils à courants alternatifs (M. **Guéry**), p. 101.

BIBLIOGRAPHIE, p. 141.

OUVRAGES OFFERTS, p. 144.

COMPTE RENDU

DE LA

RÉUNION ORDINAIRE MENSUELLE

du mercredi 7 mars 1906 ⁽¹⁾.

PRÉSIDENCE DE M. E. BOUTY.

La séance est ouverte à 8^h35^m du soir et le procès-verbal de la dernière Réunion mensuelle est adopté.

Il est donné connaissance des Ouvrages offerts à la Société (*voir* p. 144) et des demandes d'admission suivantes :

(¹) La Société n'est pas solidaire des opinions émises par ses membres dans les discussions, ni responsable des Notes ou Mémoires publiés dans le *Bulletin*.

MM.

Allain-Launay (Jules-Hippolyte-Edmond), Ingénieur à la *Compagnie générale du gaz pour la France et pour l'étranger*, 21, rue Casimir-Périer, à Paris. — Présenté par MM. Janet et L. Joly.

Dachary (Charles-Dominique), Ingénieur-Électricien, Licencié ès Sciences, 17, rue du Départ, à Paris. — Présenté par MM. Ducouso et Mazen.

France (Étienne de), Ingénieur à la Société l'*Éclairage électrique*, 6, rue de Solferino, à Paris. — Présenté par MM. Armagnat et Robard.

Gaudet (Charles-Henri), Secrétaire général de la Société l'*Éclairage électrique*, 12, rue Brémontier, à Paris. — Présenté par MM. Armagnat et Robard.

Néel (Auguste-Jean-Henri), Ingénieur à la *Société normande de gaz, électricité et eau*, route de Pont-l'Évêque, à Trouville (Calvados). — Présenté par MM. Brylinski et Picou.

Pillier (Lyonel-Léon), Ingénieur de la *Maison Chauvin et Arnoux*, 186, rue Championnet, à Paris. — Présenté par MM. Arnoux et Chauvin.

Recklinghausen (Max de), Ingénieur en chef de la *Cooper Hewitt Electric Co*, New-York, 45, rue de l'Arcade, à Paris. — Présenté par MM. Bouty et Maurice Leblanc.

Simonet (Jules), Directeur général de la *Française électrique, Compagnie de constructions électriques et de traction*, 101, rue de Crimée, à Paris. — Présenté par MM. Guilbert et Javaux.

Société lyonnaise des forces motrices du Rhône, 37, rue de la République, à Lyon (Rhône). — Présenté par MM. Rechniewski et Robard.

Testurel (Paul-A.), *Drawing and Designing dept, Cie Stanley G. D. Electric Mfg. Co*, 117, South St. Pittsfield (Mass.) (U. S. A.). — Présenté par MM. Boutin et Guilbert.

Ces candidats sont élus membres titulaires de la Société internationale des Électriciens.

M. le PRÉSIDENT fait part du décès de MM. *Arnoye* et *Luneau-Clayeux*; il en exprime ses regrets au nom de la Société.

Conformément à l'article 14 du Règlement intérieur, il est donné connaissance de la liste ci-après, des candidats proposés par le Comité d'administration pour le renouvellement partiel du Bureau et du Comité, ainsi que des membres de la Commission des Comptes, par l'Assemblée générale du 4 avril 1906 :

PRÉSIDENT

pour l'exercice 1907-1908 :

MM.

Becquerel (H.), Membre de l'Institut.

VICE-PRÉSIDENTS :

Poincaré (L.), Inspecteur général de l'Instruction publique.

Rey (J.), Ingénieur civil des Mines.

TRÉSORIER :

MM.

Violet (L.), Ingénieur.

SECRÉTAIRES :

Jouaust (R.), Chef de Travaux au *Laboratoire central d'Électricité*.

Jumeau (L.), Ingénieur-Électricien.

MEMBRES :

Aliamet (M.), Inspecteur-chef du Laboratoire électrotechnique au *Chemin de fer du Nord*.

Arnoeux (R.), Ingénieur-Constructeur.

Bainville (A.), Ingénieur-Conseil.

Blondin (J.), Professeur au Collège Rollin.

Boucherot (P.), Ingénieur-Conseil.

Brocq, Ingénieur des Arts et Manufactures.

Chaumat (H.), Sous-Directeur de l'*École supérieure d'Électricité*.

Chevrier (L.), Directeur de l'*Usine centrale du Secteur de la Rive gauche*.

Girousse, Ingénieur des Télégraphes.

Gratzmuller, Ingénieur-Électricien.

Guéry (F.), Ingénieur-Électricien.

Guilbert (C.), Ingénieur-Électricien.

Langevin (P.), Professeur suppléant au Collège de France.

Lorain, Ingénieur des Télégraphes.

Mauduit (A.), Ingénieur-Électricien.

Mazen (A.), Ingénieur des Services électriques des *Chemins de fer de l'Ouest*.

Meyer (F.), Directeur de la *Compagnie continentale Edison*.

Meyer (M.), Directeur de la *Compagnie générale de travaux d'éclairage et de force*.

Mongin (E.), Ingénieur.

Villard (P.), Professeur suppléant au Conservatoire national des Arts et Métiers.

COMMISSION DES COMPTES :

Boistel (E.), Ingénieur-Conseil.

Pellissier (G.).

Touanne (de la), Ingénieur des Télégraphes.

Au sujet de l'invitation transmise à la Société par l'*Institution of Electrical Engineers*, M. le PRÉSIDENT donne lecture du Programme des excursions et visites projetées. Il invite les Sociétaires qui sont dans l'intention d'accepter cette invitation à se faire inscrire dans le plus bref délai afin de pouvoir fixer l'Institution anglaise sur le nombre approximatif des adhérents de la Société.

L'ordre du jour appelle les Communications techniques.

M. Langevin présente une seconde Communication sur les *Recherches récentes sur la décharge disruptive; l'étincelle et l'arc électrique* ⁽¹⁾.

M. le PRÉSIDENT remercie M. Langevin d'avoir su, en surmontant sa fatigue, présenter d'une façon si claire un ensemble de phénomènes très compliqués.

(¹) Le Mémoire de M. Langevin sera publié dans un prochain Numéro.

**SUR L'UTILITÉ ET LES MOYENS D'ÉVITER LES HARMONIQUES
DANS LES APPAREILS A COURANTS ALTERNATIFS.**

M. GUÉRY. — « Messieurs, depuis quelques années la recherche des moyens d'accroître la sécurité des réseaux à haute tension a fait ici même l'objet d'intéressantes Communications à la suite de l'exposé général de cette question par M. Picou dans la séance de mai 1904. Dans cet ordre d'idées vous connaissez déjà les inconvénients imputables aux harmoniques de la courbe de tension, et j'aurai d'ailleurs l'occasion de vous les rappeler tout à l'heure. Il était intéressant de rechercher les moyens de parer à ces inconvénients en combattant directement la cause qui leur donne naissance.

» Cette question ayant été mise à l'ordre du jour de la première section du Comité, son président, M. Boucherot, a bien voulu me charger de préparer un rapport qui en souligne les points importants, et que j'aurai l'honneur de vous présenter ce soir. Je suis heureux de rendre hommage à la bienveillance éclairée de M. Boucherot, qui m'a signalé très nettement les points délicats et m'a conduit à mettre sur bien des points la théorie d'accord avec l'expérience.

PREMIÈRE PARTIE.

Production des harmoniques.

» L'origine des harmoniques dans un alternateur est la forme non sinusoïdale de la variation en fonction du temps du flux de force embrassé par une spire de l'induit. Cette variation se produit suivant deux modes différents et généralement coexistants :

- » 1° Le mouvement relatif de la spire et du flux;
- » 2° Les variations dans la grandeur de ce flux et dans la distribution des lignes de force.

» D'où également deux sortes d'harmoniques, les uns provenant de ce que la distribution des lignes de force est telle que le flux

embrassé ne varie pas suivant la loi sinusoïdale, les autres de ce que le flux subit des variations périodiques de grandeur ou oscille périodiquement autour d'une position moyenne.

» En outre, quelle que soit l'origine des harmoniques, il convient en étudiant leur production de faire une distinction résultant du mode de production du flux; celui-ci provient de la composition des ampères-tours de l'inducteur et de ceux de l'induit. L'amplitude des harmoniques peut donc être différente, suivant que l'alternateur est à vide ou en charge.

REMARQUE.

» *Sur la parité des harmoniques.* — Avant d'aborder l'étude des causes des harmoniques, il est nécessaire de remarquer que, très généralement, les machines produisent seulement des harmoniques d'ordre impair. Ceux d'ordre pair ne peuvent, en effet, exister que si les différents secteurs que l'on pourrait découper sur la machine, en divisant sa périphérie en arcs égaux correspondant à un pas polaire, n'étaient pas superposables. Cette dissymétrie particulière peut être accidentelle et due, par exemple, à un vice de construction; mais elle peut aussi exister normalement, par exemple, dans les alternateurs à pôles conséquents, ou bien si le nombre d'encoches par double pas polaire est impair, ou bien enfin, comme le signale M. Boucherot, dans le cas des alternateurs homopolaires, si l'angle sous-tendu par les bobines de l'induit diffère de celui du pas polaire.

PREMIÈRE SORTE D'HARMONIQUES.

Harmoniques dus à la répartition non sinusoïdale de l'induction périphérique.

» I. ALTERNATEURS A VIDE. — Pour qu'il n'y ait pas d'harmoniques dans la courbe à vide, il faudrait tout d'abord que la répartition des lignes de force le long de l'entrefer suivit une loi sinusoïdale, condition qui n'est généralement pas réalisée. Nous examinerons séparément le cas où l'induit est lisse et celui, beaucoup plus fréquent, où il est denté.

» 1° *Induit lisse.* — Dans l'alternateur avec pôles saillants, si

l'on admet que le flux se trouve concentré uniquement sous les pièces polaires, la courbe de la force électromotrice induite dans un conducteur de l'induit aura la forme indiquée par la figure 1.

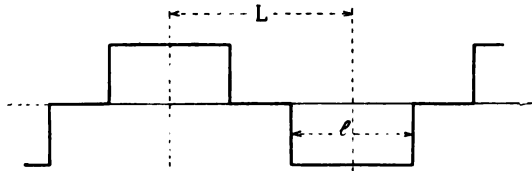


Fig. 1.

» Si l'on développe cette courbe en série de Fourier, en prenant pour origine l'axe d'un pôle, on trouve une expression de la forme

$$E = E_1 \cos \omega t + E_3 \cos 3\omega t + \dots + E_n \cos n\omega t + \dots,$$

le coefficient du terme harmonique d'ordre n ayant pour valeur

$$E_n = \frac{4}{\pi} \mathfrak{w}_0 \lambda v \frac{1}{n} \sin \frac{n\pi l}{2L}.$$

$\mathfrak{w}_0$ induction maxima dans l'entrefer;

λ longueur de l'induit;

v vitesse périphérique;

l longueur d'un pôle;

L pas polaire.

» Par exemple, si $\frac{l}{L} = \frac{2}{3}$, les harmoniques multiples de 3 sont supprimés et l'on a

$$E = 1,11 \mathfrak{w}_0 \lambda v \left(\cos \omega t - \frac{1}{5} \cos 5\omega t + \frac{1}{7} \cos 7\omega t - \frac{1}{11} \cos 11\omega t + \dots \right).$$

» Pour $\frac{l}{L} = \frac{1}{2}$,

$$E = 0,9 \mathfrak{w}_0 \lambda v \left(\cos \omega t + \frac{1}{3} \cos 3\omega t - \frac{1}{5} \cos 5\omega t - \frac{1}{7} \cos 7\omega t + \dots \right).$$

» Dans ces deux exemples, empruntés aux conférences de M. Boucherot à l'École supérieure d'Électricité, l'amplitude relative des harmoniques décroît en raison inverse de leur ordre.

» En réalité, même pour des pièces polaires sans chanfrein, le champ n'est pas uniforme sous le pôle, de sorte que la forme de la

courbe de la force électromotrice diffère notablement de celle indiquée ci-dessus et l'amplitude relative des harmoniques est pratiquement inférieure à celle qui résulte des formules indiquées.

» On s'en rend compte en étudiant le développement en série de Fourier de la courbe ci-dessous (*fig. 2*) correspondant à une varia-

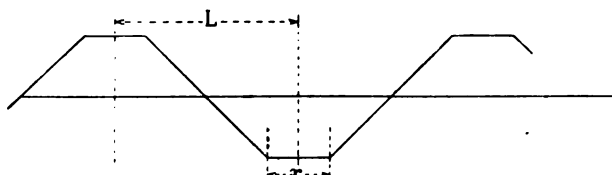


Fig. 2.

tion linéaire du champ dans l'interpôle :

» On trouve pour le coefficient de $\cos n \omega t$:

$$E_n = \frac{8L}{L-x} \frac{\omega_0 \lambda v}{n^2 \pi^2} \cos \frac{n \pi x}{2L}.$$

» L'harmonique 3 disparaît pour $x = \frac{L}{3}$ et l'on a dans ce cas :

$$E = 1,05 \omega_0 \lambda v \left(\cos \omega t - \frac{1}{25} \cos 5 \omega t - \frac{1}{49} \cos 7 \omega t + \frac{1}{121} \cos 11 \omega t + \dots \right).$$

» Les amplitudes des harmoniques sont donc beaucoup plus faibles que dans le cas précédent.

» Il résulte, en outre, de l'examen de ces deux cas, que l'on ne saurait affirmer d'avance que telle proportion des épanouissements polaires permettra d'annuler tel harmonique, la répartition du champ dans les franges des pièces polaires, qui a comme on voit une importance capitale, ne pouvant être exactement prédéterminée. Des différences très faibles dans la forme des épanouissements polaires peuvent entraîner des différences notables dans l'amplitude et la phase relatives des harmoniques de la courbe de l'induction périphérique (').

» 2° *Induit denté.* — Il est à prévoir que la forme de la courbe de force électromotrice, que l'on obtient avec un induit lisse, se trou-

(¹) Cette courbe peut en outre être déformée par suite de causes accessoires telles que l'hystérésis.

vera modifiée par la présence même de la denture. Prenons donc d'abord un induit lisse que, pour simplifier l'écriture, nous supposons appartenir à un alternateur bipolaire. Cette hypothèse n'enlève d'ailleurs rien à la généralité du calcul. En désignant par α l'abscisse angulaire d'un point de la surface de l'induit par rapport à l'axe d'un pôle pris pour origine, la valeur de l'induction $\mathfrak{B}$ en ce point peut être mise sous la forme :

$$(1) \quad \mathfrak{B} = \mathfrak{B}_0 (\cos \alpha + h_2 \cos 3 \alpha + \dots) = \mathfrak{B}_0 \sum h_n \cos n \alpha.$$

» En supposant la longueur et le rayon de l'induit égaux à l'unité, la force électromotrice induite dans une spire embrassant exactement un pas polaire, pour une vitesse angulaire ω , a pour expression :

$$(2) \quad E = 2 \mathfrak{B}_0 \omega (\cos \omega t + h_2 \cos 3 \omega t + \dots) = 2 \mathfrak{B}_0 \omega \sum h_n \cos n \omega t.$$

» *L'amplitude relative* de l'harmonique d'ordre n est h_n . Découpons maintenant dans cet induit des encoches régulièrement espacées en nombre m par double pas polaire.

» Désignons par σ le rapport de la largeur d'une dent au pas dentaire.

» Pour nous en tenir aux cas les plus usuels, nous supposons m pair; le pas polaire est alors multiple du pas dentaire. Nous pouvons admettre que l'induction à la surface des dents est, en un point donné, proportionnelle à la valeur qu'elle aurait pour l'induit lisse. Elle peut donc encore être représentée par l'expression (1). Nous négligerons le flux qui passe dans les encoches, approximation permise en raison du peu d'importance de ce flux par rapport à celui qui passe dans les dents. Enfin nous supposons constant le nombre d'ampères-tours demandé par l'entrefer, quelles que soient les positions relatives de l'inducteur et de l'induit. Cela revient à supposer constante l'induction maxima $\mathfrak{B}_0$. Nous verrons plus loin que cette condition n'est pas en général pratiquement réalisée, mais que le résultat de la présente étude est néanmoins maintenu.

» Il est facile, dans ces conditions, de trouver la valeur du flux embrassé par une spire d'ouverture égale à un pas polaire en ajoutant les flux passant dans $\frac{m}{2}$ dents voisines. On en déduit immédiatement

l'expression de la force électromotrice induite dans cette spire qui, tous calculs faits, est la suivante :

$$(3) \quad E = 2 \mathfrak{W}_0 \omega \sum h_n \frac{\sin \frac{\sigma n \pi}{m}}{\sin \frac{n \pi}{m}} \cos n \omega t.$$

» L'effet de la denture a donc été de multiplier l'*amplitude relative* de l'harmonique d'ordre n par le rapport

$$(4) \quad \rho_d = \frac{\frac{\sin \frac{\sigma n \pi}{m}}{\sin \frac{n \pi}{m}}}{\frac{\sin \frac{\sigma \pi}{m}}{\sin \frac{\pi}{m}}}.$$

» On peut vérifier que la valeur absolue de ce rapport est, d'une manière générale, au moins égale à l'unité. Les harmoniques sont donc amplifiées par la denture. Le rapport d'amplification varie avec l'ordre de l'harmonique considéré et prend une valeur particulièrement grande lorsque n est égal à $m - 1$ ou $m + 1$, ordre des harmoniques dits *de denture*. Ce renforcement sera bien mis en évidence par un exemple.

» Nous prendrons la valeur $\sigma = \frac{1}{2}$, c'est-à-dire des dents de même largeur que les encoches. L'expression de ρ_d prend dans ce cas la forme simple

$$(5) \quad \rho_d = \frac{\cos \frac{\pi}{2m}}{\cos \frac{n \pi}{2m}}$$

qui permet de l'étudier plus facilement.

» Nous examinerons, dans ces conditions, l'alternateur triphasé à deux encoches par pôle et phase, qui est très courant. m est alors égal à 12, les harmoniques de denture sont d'ordre 11 et 13. Le rapport d'amplification prend les valeurs suivantes :

Ordre de l'harmonique..	[3]	5	7	[9]	11	13	[15]	17	19	[21]	23	25
Rapport d'amplification..	1,1	1,25	1,67	2,6	8	—8	—2,6	—1,67	—1,25	—1,1	—1	1

» Les harmoniques entre crochets sont ceux dont l'ordre est multiple de 3, qui, comme on sait, n'existent pas dans l'alternateur triphasé monté en étoile ou en triangle.

» On voit que le renforcement des harmoniques de denture est tout particulier. Il est intéressant de rechercher quelle amplitude relative ils peuvent ainsi atteindre. Admettre pour les harmoniques de l'induction périphérique une amplitude inversement proportionnelle au carré de leur ordre peut n'être pas exagéré. Dans ces conditions les amplitudes relatives dans la courbe de force électromotrice seront :

$$\begin{array}{rcl} \text{Pour l'harmonique 11.....} & \frac{8}{121} = 6,6 & \text{pour 100} \\ \text{— 13.....} & \frac{8}{169} = 4,5 & \text{—} \end{array}$$

» Ces amplitudes sont très notables et l'effet produit doit être nettement visible sur la courbe. En effet, lorsque deux harmoniques voisins ont des amplitudes peu différentes, leur composition, par suite d'un phénomène d'interférence, produit dans la courbe de force électromotrice des dentelures d'amplitude variable. Ces dentelures produisent, à peu près, le même effet qu'un harmonique d'ordre intermédiaire, d'amplitude variable périodiquement, avec un maximum égal à la somme des amplitudes des deux harmoniques interférant. Dans le cas examiné, ces dentelures seraient d'ordre 12 avec une amplitude maximum relative de

$$6,6 + 4,5 = 11,1 \text{ pour 100,}$$

c'est-à-dire de l'ordre de grandeur de celles qu'on remarque sur les plus mauvaises courbes relevées expérimentalement. L'effet de la denture peut donc être désastreux, même dans un alternateur ayant une courbe d'induction périphérique satisfaisante en apparence.

» *Influence des proportions des encoches et des dents. Cas particulier des encoches demi-fermées.* — Le rapport d'amplification déterminé précédemment dépend du rapport σ de la largeur de la dent au pas dentaire.

» Il est facile de voir qu'une valeur de σ voisine de $\frac{1}{2}$ est particulièrement défavorable, l'amplification devenant de moins en moins

importante lorsque σ se rapproche de 0 ou de 1, valeurs correspondant à l'induit lisse.

» En général les dents sont plus larges que les encoches de sorte que σ est compris entre $\frac{1}{3}$ et 1. Pour les alternateurs à denture droite la valeur de ce rapport ne s'écarte généralement pas beaucoup de $\frac{1}{2}$ de sorte qu'on se trouve toujours dans les conditions les plus défavorables.

» Lorsqu'on emploie des encoches demi-fermées, on se rapproche au contraire des conditions de l'induit lisse et l'amplification peut être insensible. Il y a toutefois dans ce cas une réserve à faire. Nous avons admis comme hypothèse primordiale que l'induction périphérique au sommet des dents n'était pas affectée par la denture. Il n'est plus possible d'admettre qu'il en est ainsi lorsque les dents d'un induit à encoches demi-fermées sont saturées. Les lignes de force qui pénètrent dans l'isthme ont en effet à franchir un trajet notablement plus grand, à travers une section plus faible, que celles qui passent au milieu des dents. Il en résulte, à l'entour de l'ouverture des encoches, un affaiblissement de l'induction périphérique, que l'on peut considérer comme un accroissement de celle-ci. L'amplitude relative des harmoniques doit donc croître en même temps que la saturation des dents. Ce fait a été constaté expérimentalement d'une manière très nette par M. Boucherot. Dans les alternateurs à encoches demi-fermées, ayant une courbe très pure lorsqu'ils fonctionnent à faible tension, les dentelures apparaissent nettement lorsqu'on augmente l'excitation.

» II. ALTERNATEUR EN CHARGE. — Dans le cas où l'alternateur est en charge, le champ de l'induit modifie la répartition des lignes de force et peut, par suite, influencer sur les harmoniques, d'une manière variable avec l'intensité et la phase du courant.

» Cette influence est certainement faible si les bobines d'induit sont convenablement réparties.

DEUXIÈME SORTE D'HARMONIQUES.

Harmoniques dus aux variations pulsatoires du flux.

» Il est facile de démontrer que si le flux total subit pour une cause quelconque une variation ou un balancement périodiques de fréquence égale à m fois celle de l'onde principale, la courbe de tension est affectée d'ondulations de fréquence égale à celle des pulsations du flux, ayant une amplitude variable, suivant la période de l'onde principale.

» Ces ondulations peuvent être considérées comme provenant d'une sorte d'interférence entre harmoniques voisins dont les principaux sont d'ordre $m - 1$ et $m + 1$.

» 1° DEUXIÈME SORTE D'HARMONIQUES DE DENTURE. — Cela posé, dans l'alternateur à vide ou en charge, on trouve une cause importante d'harmoniques de cette nature : elle consiste dans les variations de la réluctance du circuit magnétique produites par la présence d'un nombre d'encoches périodiquement variable sous les pièces polaires. Si m désigne le nombre d'encoches par pas polaire double, l'ordre des harmoniques de denture ainsi produits est $m - 1$ et $m + 1$, c'est-à-dire le même que celui des harmoniques de même nature dus à la première cause que nous avons examinée.

» Pour étudier l'amplitude des pulsations du flux dues à la denture, plaçons-nous d'abord dans les hypothèses que nous avons faites au début de l'étude de l'effet de la denture sur la forme de la courbe de la force électromotrice. La valeur de la force électromotrice est alors donnée par la relation (3) et nous savons déjà que nous devons nous attendre à l'apparition d'harmoniques d'ordre $m - 1$ et $m + 1$ d'amplitude marquée. Mais, au lieu de fixer notre attention sur le flux embrassé par une spire de l'induit, nous pouvons rechercher, pour différentes positions relatives des deux parties de l'alternateur, la valeur du flux qui passe dans la portion de l'induit correspondant à un pas polaire et comprise entre deux lignes neutres, c'est-à-dire du flux d'un pôle. Une étude mathématique un peu laborieuse, bien que sans difficultés spéciales, montre que ce flux varie entre un minimum, qui correspond à l'instant où

le milieu d'une dent se trouve sur la ligne neutre, et un maximum à l'instant où le milieu d'une encoche est sur cette même ligne, ou *vice versa* suivant la répartition de l'induction périphérique. L'hypothèse faite sur la constance des ampères-tours d'entrefer et de la valeur maxima de l'induction périphérique n'est, par suite, pas légitime.

» En effet, si provisoirement nous maintenons cette hypothèse, pour des ampères-tours constants dans l'entrefer, nous avons une variation de flux, donc la réluctance de l'entrefer est variable. Si d'autre part, toujours dans la même hypothèse, mais nous en tenant au cas de la denture droite, nous fixons notre attention sur un tube de force compris dans une dent, l'induction varie dans ce tube de force comme si l'induit était lisse. On peut donc considérer dans nos hypothèses primordiales la réluctance des dents comme constante. De sorte qu'en résumé les pulsations du flux peuvent être attribuées uniquement à une variation périodique de la réluctance de l'entrefer, due à la présence d'un nombre de dents variable à chaque instant sous la pièce polaire.

» Or, abstraction faite pour le moment de tout effet d'amortissement, les ampères-tours d'excitation sont constants. A une diminution de la réluctance de l'entrefer doit correspondre une augmentation du flux et, par suite, de l'induction dans la partie fer à réluctance constante du circuit magnétique. Il en résulte un accroissement des ampères-tours demandés par cette partie et une réduction corrélative de ceux afférents à l'entrefer. L'accroissement du flux est par suite moindre qu'il ne serait si les ampères-tours d'entrefer restaient constants. Il se produit donc, par le jeu des ampères-tours, une sorte de compensation des variations du flux d'un pôle dues à la denture.

» L'importance de cette compensation peut se déterminer par l'étude du circuit magnétique, suivant la méthode usuelle. Le point de départ sera la variation de la réluctance de l'entrefer. Pour déterminer cette variation, il faut revenir à notre hypothèse primordiale, laquelle nous conduit à une variation de flux proportionnelle à celle de la réluctance de l'entrefer. Or, d'après ce qui a été dit plus haut, la double amplitude de cette variation s'obtient par la différence des valeurs du flux d'un pôle lorsque le milieu d'une dent est sur la ligne neutre et lorsqu'une encoche a remplacé la

dent. On trouve ainsi comme amplitude des pulsations de la réluctance $\mathcal{R}$ de l'entrefer, avec les mêmes notations que précédemment,

$$(6) \quad -\frac{1}{2} \frac{\Delta \mathcal{R}}{\mathcal{R}} = \frac{\sum (-1)^{\frac{n-1}{2}} \frac{h_n}{n} \frac{\sin \frac{\sigma n \pi}{2m} \sin(1-\sigma) \frac{n \pi}{2m}}{\cos \frac{n \pi}{2m}}}{\sum (-1)^{\frac{n-1}{2}} \frac{h_n}{n} \frac{\sin \frac{\sigma n \pi}{2m} \cos(1-\sigma) \frac{n \pi}{2m}}{\sin \frac{n \pi}{2m}}}.$$

La fréquence de ces pulsations est égale à m fois celle de l'onde principale.

» L'étude de la variation de flux, conséquence de la variation de réluctance de l'entrefer, peut se faire graphiquement en utilisant la décomposition classique de la caractéristique totale en caractéristiques partielles relatives à chaque partie du circuit magnétique. Pour obtenir une expression simple de cette variation du flux, on peut opérer de la manière suivante :

» Φ étant le flux utile d'un pôle, a_f les ampères-tours de la partie fer du circuit, on a à exprimer que les ampères-tours totaux

$$a = a_f + \mathcal{R} \Phi$$

sont constants lorsque $\mathcal{R}$ et Φ varient. En négligeant les différences d'ordre supérieur, on trouve ainsi l'expression suivante de l'amplitude des variations de flux

$$\frac{1}{2} \frac{\Delta \Phi}{\Phi} = -\frac{1}{2} \frac{\Delta \mathcal{R}}{\mathcal{R}} \frac{\mathcal{R}}{\mathcal{R} + \frac{\Delta a_f}{\Delta \Phi}}.$$

» Cette expression peut être mise sous une forme un peu différente qui se prête mieux au calcul d'après la caractéristique, en introduisant le rapport de l'accroissement relatif d'ampères-tours à l'accroissement relatif du flux, rapport que l'on peut désigner sous le nom de *saturation*. On démontre facilement que la saturation Σ est égale au rapport des segments OB et BC (*fig. 3*) découpés par la tangente à la caractéristique sur l'ordonnée du flux reportée à l'origine

$$\Sigma = \frac{OB}{BC}.$$

» On voit sans difficulté que l'expression de la variation de flux peut ainsi se mettre sous la forme

$$(7) \quad \frac{1}{2} \frac{\Delta \Phi}{\Phi} = - \frac{1}{2} \frac{\Delta \mathcal{R}}{\mathcal{R}} \frac{a_c}{a \Sigma}$$

qui se prête très bien à la discussion. En effet, ainsi que l'a montré

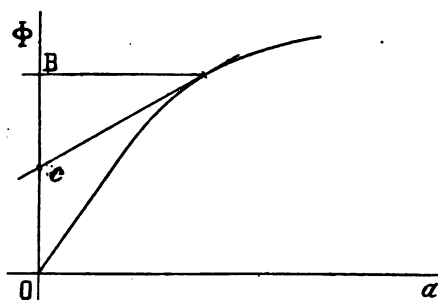


Fig. 3.

M. Boucherot, pour la stabilité il est utile d'avoir

$$\Sigma > 2.$$

» Le rapport des ampères-tours d'entrefer aux ampères-tours totaux n'est généralement pas bien supérieur à $\frac{2}{3}$. On voit donc que la variation de flux est, en général, au plus le tiers de la variation de réluctance et qu'elle décroît lorsque la saturation croît.

» *Influence de l'amortissement.* — Dans ce qui précède nous avons négligé l'effet d'amortissement produit par les courants induits dans les pièces plus ou moins massives de l'inducteur par les variations du flux dues à la denture. Une évaluation exacte de cet amortissement serait extrêmement difficile et ne présenterait pas d'intérêt pour la raison suivante : admettons que toutes les précautions aient été prises pour éviter les courants de Foucault dans l'inducteur : fer feuilleté, carcasses et joues de bobines non métalliques, conducteurs cordés, etc. Il reste à tenir compte de l'effet produit par les pulsations du flux sur l'enroulement inducteur. Or celui-ci présente par lui-même une forte self-induction et est fermé sur une excitatrice dont la self-induction est relativement faible; de sorte que l'on peut considérer le circuit d'excitation comme en court-circuit

pour les forces électromotrices de fréquence élevée développées par la denture. Il en résulte que les variations du flux dans le pôle ne peuvent avoir qu'une amplitude absolument négligeable.

» Mais le flux qui passe dans l'inducteur se compose du flux utile et du flux de fuites. Le premier de ces flux rencontre une réluctance variable, l'autre une réluctance constante. D'autre part, la force magnétomotrice du circuit de fuites varie comme les ampères-tours induits dans le circuit d'excitation par l'amortissement des variations de flux. Le flux de fuites est donc variable; le flux utile l'est par suite également, puisque la somme de ces deux flux est constante. Mais la variation du flux utile est moindre que lorsqu'on néglige l'amortissement; le rapport des variations dans les deux cas peut être désigné sous le nom de *facteur d'amortissement*. On le détermine aisément en écrivant dans les deux hypothèses les lois de Kirchhoff appliquées au circuit magnétique. On trouve ainsi comme valeur de ce rapport

$$f = \frac{\mathcal{R}_1 + \frac{\mathcal{R}_1 \mathcal{R}_3}{\mathcal{R}_2 + \mathcal{R}_3}}{\mathcal{R}_1 + \mathcal{R}_2},$$

$\mathcal{R}_1$ étant la réluctance de l'entrefer et de l'induit;

$\mathcal{R}_2$ celle du circuit de fuites;

$\mathcal{R}_3$ celle de l'inducteur.

» Si l'on a par exemple

$$\mathcal{R}_1 = 4\mathcal{R}_3, \quad \mathcal{R}_2 = 5\mathcal{R}_1 = 15\mathcal{R}_3,$$

le facteur d'amortissement prend la valeur $\frac{1}{4}$ environ, c'est-à-dire que l'amplitude des pulsations du flux utile n'aurait que le quart de la valeur donnée par la relation (7).

» L'amortissement peut être encore plus considérable si les pôles sont pleins ou munis d'amortisseurs. Car alors le flux utile est directement affecté.

» *Variation de l'induction dans l'entrefer.* — Par suite des diverses causes que nous venons d'examiner, le flux utile ne varie pas en raison inverse de la réluctance de l'entrefer comme l'exigeaient nos premières hypothèses. Il en résulte que l'induction maxima $\mathfrak{B}_0$ au

sommet des dents ne peut pas être considérée comme constante et que, par suite, l'expression (3) de la force électromotrice doit être modifiée.

» L'induction maxima $\mathfrak{B}_0$ est proportionnelle aux ampères-tours d'entrefer $\mathfrak{A}\Phi$. On a donc

$$\frac{\Delta \mathfrak{B}_0}{\mathfrak{B}_0} = \frac{\Delta \Phi}{\Phi} + \frac{\Delta \mathfrak{A}}{\mathfrak{A}}.$$

» Or, d'après ce que nous avons vu, la variation relative du flux n'est qu'une fraction assez faible de la variation relative de réluctance de l'entrefer. On peut donc prendre sans erreur sensible

$$\frac{\Delta \mathfrak{B}_0}{\mathfrak{B}_0} = \frac{\Delta \mathfrak{A}}{\mathfrak{A}}.$$

» Il faut donc reprendre le calcul de la force électromotrice en remplaçant $\mathfrak{B}_0$ par $\mathfrak{B}_0 \left(1 - \frac{1}{2} \frac{\Delta \mathfrak{A}}{\mathfrak{A}} \cos m\omega t\right)$.

» Tout calcul fait, on trouve, pour nouvelle expression de la force électromotrice,

$$(8) \quad \left\{ \begin{aligned} E' = E + \mathfrak{B}_0 \omega \frac{\sin \frac{\sigma\pi}{m}}{\sin \frac{\pi}{m}} \frac{1}{2} \frac{\Delta \mathfrak{A}}{\mathfrak{A}} \\ \times [(m-1) \cos(m-1)\omega t - (m+1) \cos(m+1)\omega t] + \dots, \end{aligned} \right.$$

E est donné par l'expression (3). Les termes non écrits sont des harmoniques d'ordre $m \pm p$, généralement d'amplitude négligeable, provenant de l'influence des variations de l'induction maxima, sur les harmoniques préexistants (¹).

» On voit donc apparaître de nouveaux harmoniques de denture en phase ou en opposition avec ceux trouvés précédemment, suivant les signes des coefficients. Il est utile de rechercher quel peut

(¹) Toutefois, en raison de l'amplitude particulièrement grande des harmoniques $m-1$ et $m+1$, il peut y avoir un renforcement notable de l'harmonique

$$m + m + 1 = 2m + 1.$$

C'est un fait que l'expérience semble confirmer.

être l'ordre de grandeur des amplitudes relatives

$$\frac{1}{2}(m-1)\frac{1}{2}\frac{\Delta\mathcal{R}}{\mathcal{R}}$$

et

$$\frac{1}{2}(m+1)\frac{1}{2}\frac{\Delta\mathcal{R}}{\mathcal{R}}$$

de ces nouveaux harmoniques.

» L'expression de $\frac{1}{2}\frac{\Delta\mathcal{R}}{\mathcal{R}}$ trouvée précédemment se prête difficilement à une discussion complète. Nous nous contenterons donc de prendre deux cas particuliers qui semblent bien montrer la nature de la difficulté qu'on peut éprouver à se débarrasser des harmoniques de denture. Ces deux cas se rapportent à l'espèce d'alternateur que nous avons déjà pris comme exemple, alternateur triphasé à deux encoches par pôle et phase.

» *Premier cas.* — La répartition de l'induction périphérique est sinusoïdale. Il n'y a pas d'harmoniques de denture dus à la première

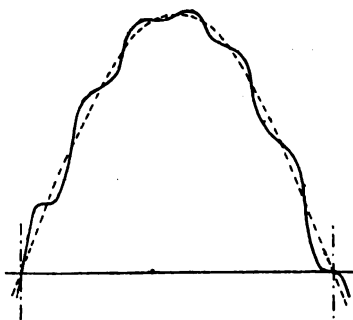


Fig. 4.

cause examinée. En revanche, les autres existent avec une amplitude facile à déterminer. En effet, dans ce cas particulier, l'expression de $\frac{1}{2}\frac{\Delta\mathcal{R}}{\mathcal{R}}$ peut être mise sous la forme simple très suffisamment approchée

$$\frac{1}{2}\frac{\Delta\mathcal{R}}{\mathcal{R}} = -(1-\sigma)\left(\frac{\pi}{2m}\right)^2,$$

m est ici égal à 12. Nous prendrons pour σ la valeur $\frac{1}{2}$.

» On trouve

$$\frac{1}{2} \frac{\Delta R}{R} = -0,0085.$$

» Les amplitudes relatives des harmoniques de denture sont ainsi :

Pour l'harmonique 11.....	4,7 pour 100
— 13.....	5,5 —

» La forme de la courbe de la force électromotrice dans une spire est indiquée par la figure 4. On remarque que l'amplitude maxima des dentelures correspond toujours pour les harmoniques de cette espèce au zéro de la force électromotrice.

» *Second cas.* — L'induction périphérique est uniforme sous le pôle et nulle dans l'interpôle. De plus, l'ouverture du pôle est les deux tiers du pas polaire. Le pôle couvre ainsi un nombre exact de pas dentaires, de sorte que la réluctance de l'entrefer est invariable.

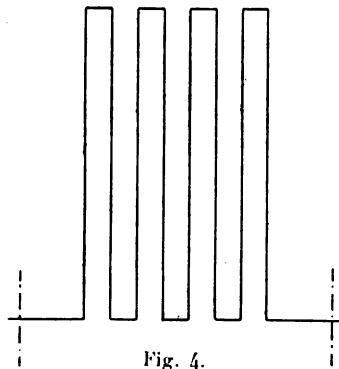


Fig. 4.

La première cause d'harmoniques subsiste seule dans ce cas. Or, on a vu précédemment que, dans les conditions choisies, d'une part les harmoniques 11 et 13 ont dans la courbe de l'induction périphérique des amplitudes relatives de $-\frac{1}{11}$ et $\frac{1}{13}$, et, d'autre part, que ces amplitudes sont multipliées par 8 et -8 par l'effet de la denture. La courbe de la force électromotrice dans une spire a la forme représentée par la figure 5.

» Les deux exemples qui précèdent ne correspondent pas à des cas pratiques, parce que l'induction périphérique n'est jamais rigoureusement sinusoïdale d'une part et que, d'autre part, le flux

n'est jamais non plus uniquement concentré sous les pièces polaires. Il en résulte que les harmoniques de denture de la première sorte existeront toujours, mais n'auront pas, même si les pièces polaires n'ont pas de chanfrein, l'amplitude exagérée que l'on remarque sur la figure 5, l'effet des franges du flux paraissant bien être de réduire notablement l'amplitude de tous les harmoniques ⁽¹⁾. Les courbes pratiques, qui n'ont pas la symétrie de la figure 5, tout en présentant généralement comme celle-ci un maximum des dentelures au sommet de l'onde, semblent bien indiquer d'ailleurs que les deux espèces d'harmoniques de denture se superposent généralement. Ce fait paraît confirmé par l'analyse des courbes à l'oscillographe, qui indique quelquefois des amplitudes très différentes pour les deux harmoniques de denture. Cette divergence se présentait très nettement dans les courbes relevées par M. David sur les machines de l'Usine de Plan du Var. L'harmonique 13 était dix fois plus important que l'harmonique 11.

» L'examen du deuxième cas nous conduit encore à une constatation intéressante, c'est que la pratique assez courante, qui consiste à faire l'ouverture du pôle multiple du pas dentaire, ne supprime pas les harmoniques de denture, fait confirmé par l'expérience.

» Avant de quitter ce sujet, il n'est pas inutile de faire remarquer que les harmoniques de denture dus aux variations de réluctance ont évidemment une amplitude moins grande avec les encoches demi-fermées qu'avec les encoches ouvertes.

» L'amplitude doit croître lorsque l'ouverture des encoches augmente et, par suite, dans le cas des encoches demi-fermées, lorsque la saturation croît.

» En résumé :

» 1° Les harmoniques de denture ont deux origines distinctes :

» L'amplification par la denture des harmoniques préexistants de l'induction périphérique.

» Les variations de réluctance de l'entrefer produites par la denture.

(1) Il faudrait, en outre, tenir compte des lignes de force qui passent dans les encoches et que nous avons négligées pour simplifier. La figure 5 semble donc bien indiquer la limite supérieure d'amplitude possible pour les harmoniques de denture, limite qui pratiquement n'est jamais atteinte.

» 2° Il n'y a rien à attendre de l'amortissement des pulsations du flux par l'inducteur pour atténuer les harmoniques de denture.

» 3° Dans le cas particulier des encoches demi-fermées, l'amplitude des harmoniques de denture, très faible aux basses inductions, croît rapidement avec la saturation.

» 2° HARMONIQUES DE RÉACTION D'INDUIT. — En outre des harmoniques de denture, l'alternateur en charge peut être affecté d'harmoniques provenant de variations du flux total dues au courant de l'induit.

» Dans l'alternateur monophasé, le courant de l'induit donne naissance à des variations du flux total de fréquence double de celle de l'onde principale.

» Ces variations seraient sans influence si le flux de l'induit rencontrait une réluctance constante et s'il n'y avait pas d'amortissement. Car le flux créé par l'induit a par rapport à lui la fréquence de l'onde principale.

» Mais dans l'alternateur à pôles saillants la réluctance offerte au flux de l'induit varie périodiquement avec une fréquence double de celle du courant de l'induit. Il en résulte la production d'un harmonique d'ordre 3.

» Les courants induits dans les pièces pleines de l'inducteur sont également susceptibles de produire toute une série d'harmoniques. En effet, si l'on désigne par f la fréquence de l'onde principale, la composante tournante du flux de l'induit est, par rapport à l'inducteur, de fréquence $2f$. Elle induit donc des courants de fréquence $2f$ qui tendent à créer un flux en sens inverse. Suivant la disposition des pièces pleines de l'inducteur, ce flux peut être tournant ou alternatif. Dans l'un et l'autre cas, il donne lieu dans l'induit à la production d'un harmonique 3. On verrait de même que si l'harmonique 3 existe dans la courbe du courant il donnera lieu, par le même mécanisme, à la production de l'harmonique 5, et ainsi de suite.

» Mais l'harmonique 3 dû à l'amortissement doit s'opposer sensiblement à celui que produit la variation de réluctance. Si donc on était maître de régler l'importance de l'amortissement, on pourrait

obtenir la compensation des deux effets opposés. Il n'en est malheureusement pas ainsi, car nous avons déjà eu l'occasion de faire remarquer que l'amortissement dû à l'enroulement inducteur était absolument complet. Il ne pourrait être notablement réduit que par l'adjonction, dans le circuit d'excitation, d'une self-induction du même ordre de grandeur que celle de ce circuit, c'est-à-dire fort onéreuse.

» En résumé, la présence d'un harmonique 3 assez important dans la courbe de l'alternateur monophasé en charge paraît à peu près inévitable.

» Dans l'alternateur polyphasé, le flux de l'induit, fixe dans son ensemble par rapport à l'inducteur, est affecté de déformations périodiques accompagnées de variations en grandeur qui dépendent du mode de répartition des conducteurs. On arrive par des considérations simples à montrer qu'il doit en résulter, pour l'alternateur diphasé, la production d'harmoniques d'ordre 3 et 5 et plus généralement $4n \pm 1$, et, pour l'alternateur triphasé, d'harmoniques d'ordre 5 et 7 et plus généralement $6n \pm 1$.

» L'amplitude de ces harmoniques est généralement faible.

» AUTRES CAUSES D'HARMONIQUES. — On peut observer que dans les moteurs synchrones existent les mêmes causes d'harmoniques que dans les alternateurs. Les autres appareils d'utilisation, moteurs asynchrones, transformateurs ou bobines de réaction, lampes à arc, etc., peuvent également provoquer la production d'harmoniques par les déformations dues à diverses causes qu'ils font subir à la courbe du courant et de la réaction qui peut en résulter sur la courbe de tension.

» Ces causes d'harmoniques paraissent devoir être en général négligeables. Toutefois il y a lieu de signaler les harmoniques de nature particulière que peuvent produire les machines à commutateurs, commutatrices, redresseurs, moteurs à collecteurs et qui sont dus aux variations ou oscillations du flux produites par la commutation. On arrive à montrer facilement que, l désignant le nombre de lames qui passent sous un balai pendant une période de l'onde principale, l'ordre de ces harmoniques est $l \pm 1$. Leur amplitude doit être dans la plupart des cas assez peu importante.

DEUXIÈME PARTIE.

Effets des harmoniques préexistants dans la courbe de tension.

1. — VARIATION D'AMPLITUDE DES HARMONIQUES DE L'ALTERNATEUR EN CHARGE.

» Lorsqu'on charge un alternateur, l'amplitude des harmoniques de la courbe de tension peut être influencée à la fois par le circuit extérieur et par les réactions qui se produisent dans l'alternateur lui-même.

» Le but de ce qui suit est d'indiquer le sens de cette influence en négligeant, pour simplifier, toutes les actions secondaires telles que celles des courants de Foucault, de l'hystérésis, de la saturation du fer, dont l'analyse serait très compliquée.

» Nous désignons par rapport d'amplification ou d'affaiblissement d'un harmonique de la courbe de tension, pour un certain régime de charge, le rapport de son amplitude relative en charge à son amplitude relative à vide.

» Le rapport d'amplification ou d'affaiblissement d'un harmonique de la courbe de l'intensité peut également être défini; ce sera le rapport de son amplitude relative à l'amplitude relative de l'harmonique de même ordre de la courbe de tension à vide. Nous évaluerons ce rapport en étudiant la loi du passage du courant pour chaque harmonique supposé agissant seul dans le circuit.

» Soient donc :

E_1, E_n les amplitudes de l'onde fondamentale et de l'harmonique d'ordre n dans la courbe à vide;

e_1, e_n les mêmes valeurs dans la courbe en charge;

I_1, I_n les amplitudes de l'onde fondamentale et de l'harmonique d'ordre n dans la courbe de l'intensité;

R, L, C , la résistance, la self-inductance et la capacité du circuit extérieur;

L' la self-inductance de l'alternateur, dont nous supposons la résistance intérieure négligeable;

ω la pulsation de l'onde principale;

γ_n, γ'_n les rapports d'amplification ou d'affaiblissement de l'harmo-

nique d'ordre n respectivement dans les courbes de tension et d'intensité.

» On a

$$I_1 = \frac{E_1}{\sqrt{R^2 + \left[(\mathcal{L} + \mathcal{L}')\omega - \frac{1}{C\omega} \right]^2}},$$

$$e_1 = \frac{E_1 \sqrt{R^2 + \left(\mathcal{L}\omega - \frac{1}{C\omega} \right)^2}}{\sqrt{R^2 + \left[(\mathcal{L} + \mathcal{L}')\omega - \frac{1}{C\omega} \right]^2}},$$

$$I_n = \frac{E_n}{\sqrt{R^2 + \left[(\mathcal{L} + \mathcal{L}')n\omega - \frac{1}{Cn\omega} \right]^2}},$$

$$e_n = \frac{E_n \sqrt{R^2 + \left(\mathcal{L}n\omega - \frac{1}{Cn\omega} \right)^2}}{\sqrt{R^2 + \left[(\mathcal{L} + \mathcal{L}')n\omega - \frac{1}{Cn\omega} \right]^2}}.$$

» D'où

$$\gamma_n = \frac{\frac{e_n}{e_1}}{\frac{E_n}{E_1}} = \frac{\sqrt{R^2 + \left(\mathcal{L}n\omega - \frac{1}{Cn\omega} \right)^2} \sqrt{R^2 + \left[(\mathcal{L} + \mathcal{L}')\omega - \frac{1}{C\omega} \right]^2}}{\sqrt{R^2 + \left(\mathcal{L}\omega - \frac{1}{C\omega} \right)^2} \sqrt{R^2 + \left[(\mathcal{L} + \mathcal{L}')n\omega - \frac{1}{Cn\omega} \right]^2}},$$

$$\gamma_n = \frac{\frac{I_n}{I_1}}{\frac{E_n}{E_1}} = \frac{\sqrt{R^2 + \left[(\mathcal{L} + \mathcal{L}')\omega - \frac{1}{C\omega} \right]^2}}{\sqrt{R^2 + \left[(\mathcal{L} + \mathcal{L}')n\omega - \frac{1}{Cn\omega} \right]^2}}.$$

» Nous allons examiner successivement un certain nombre de cas particuliers pour bien faire ressortir l'influence des différents éléments du circuit extérieur :

» 1° *Alternateur en charge sur résistance non inductive.* — Dans ce cas on a

$$\gamma_n = \gamma'_n = \sqrt{\frac{R^2 + \mathcal{L}'^2 \omega^2}{R^2 + n^2 \mathcal{L}'^2 \omega^2}}.$$

» Les harmoniques ont la même amplitude relative dans les courbes de tension et d'intensité. Cette amplitude relative décroît quand la charge augmente d'autant plus rapidement que l'ordre de

l'harmonique est plus élevé. En court-circuit, on a

$$\gamma'_n = \frac{1}{n}.$$

» La courbe de l'intensité en court-circuit se rapprochera donc généralement beaucoup de la sinusoïde.

» 2° *Alternateur en charge sur circuit extérieur purement inductif.*

— On a

$$\gamma_n = 1,$$

$$\gamma'_n = \frac{1}{n}.$$

» La courbe de tension n'est pas modifiée.

» La courbe de l'intensité se rapproche de la sinusoïde.

» Dans le cas où l'alternateur serait chargé par une résistance extérieure inductive ou par des transformateurs dont le secondaire serait fermé, les modifications des courbes de tension et d'intensité seraient intermédiaires entre celles des deux cas précédents.

» 3° *Alternateur en charge sur capacité sans résistance ni self-inductance.* — On a

$$\text{valeur absolue de } \gamma_n = \text{valeur absolue de } \frac{X' C \omega^2 - 1}{X' C n^2 \omega^2 - 1}$$

et

$$\gamma'_n = n \gamma_n.$$

» Il est bien évident que l'on ne peut plus négliger la résistance pour l'harmonique résonant; mais on se rend compte facilement que cette simplification est très généralement justifiée pour tous les autres.

» En désignant par p l'ordre de l'harmonique résonant, on a, toujours en prenant les valeurs absolues,

$$\gamma_n = \frac{1 - p^2}{n^2 - p^2}.$$

» Les harmoniques sont amplifiées d'autant plus qu'ils sont plus voisins de l'harmonique résonant.

» 4° *Alternateur en charge sur réseau présentant à la fois résis-*

tance, self-inductance et capacité. — On peut résumer ce qui précède en disant qu'un harmonique débitant du courant watté est affaibli dans la courbe de tension; s'il débite du courant magnétisant, son amplitude est maintenue la même qu'à vide; elle est accrue si l'harmonique débite du courant démagnétisant ou de capacité.

» La courbe d'intensité tend à se rapprocher de la sinusoïde tant qu'il n'y a pas de capacité. S'il y a de la capacité, la courbe d'intensité présente l'exagération des déformations de la courbe de tension.

» Chaque cas particulier de charge extérieure sera une combinaison des trois cas extrêmes qui viennent d'être examinés. Il est facile de voir que, sur un réseau présentant à la fois résistance, self-inductance et capacité, tels harmoniques pourront être renforcés, d'autres atténués, d'autres maintenus dans la courbe de tension aux bornes. Celle-ci doit donc subir des variations de forme continues, conséquences des variations de charge du réseau.

» 5° *Alternateur couplé avec d'autres alternateurs ou moteurs synchrones.* — Il est nécessaire de mettre à part le cas où l'alternateur est couplé avec d'autres alternateurs ou actionne des moteurs. Si les différentes machines couplées présentent dans leur courbe de tension les mêmes harmoniques, avec la même amplitude et la même phase, leur présence ne pourra avoir d'influence que sur les oscillations de ces machines en modifiant leur période. Il n'en sera pas de même si les harmoniques de même ordre ont des amplitudes ou des phases différentes dans les machines fonctionnant en parallèle. Examinons par exemple le cas d'un alternateur ou groupe d'alternateurs couplés ayant un certain harmonique, mis en parallèle avec un alternateur ou moteur synchrone dépourvu de cet harmonique.

» L'harmonique en question est mis en court-circuit sur la self-induction de la machine reliée. De telle sorte qu'en admettant même la condition la plus défavorable d'un groupe d'alternateurs couplés avec une self-induction négligeable, le courant de l'harmonique est celui qui correspond à la mise en court-circuit de la machine reliée.

» Or nous avons vu que si l'on désigne par I_{icc} et I_{ncc} les courants

de court-circuit de l'onde principale et de l'harmonique, et par E , et E_n les tensions correspondantes, on a

$$\frac{I_{ncc}}{I_{cc}} = \frac{E_n}{nE}.$$

» En général, E_n n'est qu'une fraction assez faible de E .

» Si, par exemple, $\frac{E_n}{E} = \frac{1}{n}$, on a

$$\frac{I_{ncc}}{I_{cc}} = \frac{1}{n^2}.$$

» Pour l'harmonique 5, le courant de court-circuit serait dans ces conditions 4 pour 100 du courant de court-circuit de l'onde principale, c'est-à-dire peu dangereux. Donc, dans la plupart des cas, la mise en parallèle de machines n'ayant pas les mêmes harmoniques n'occasionnera pas d'augmentation de perte sensible due au courant de circulation de l'harmonique court-circuité. Elle offre d'ailleurs l'avantage de réduire l'amplitude des harmoniques dans la courbe de tension.

» Un cas également intéressant est celui de deux machines ayant les mêmes harmoniques, mises en parallèle, et dans lesquelles, par suite d'une différence de phase, les tensions d'un des harmoniques viendraient à s'ajouter dans le circuit commun. Le courant de circulation pourrait alors atteindre une valeur deux fois plus grande que dans le cas précédent. Ce fait peut se produire par suite d'une différence dans l'excitation de deux machines en parallèle. Il permet d'expliquer pourquoi les harmoniques sont généralement d'autant plus atténués qu'il y a plus d'alternateurs couplés.

» 6° *Alternateur en charge sur moteur asynchrone.* — Si la courbe de la tension fournie à un moteur asynchrone contient un harmonique d'ordre n , celui-ci produit un champ tournant dans le stator. On démontre aisément que, dans le cas du triphasé, ce champ tourne dans le même sens que le champ principal ou en sens inverse suivant que l'ordre de l'harmonique est de la forme $3k - 2$ ou $3k + 2$.

» Dans l'un et l'autre cas, sa vitesse de rotation par rapport au rotor est grande. Le moteur asynchrone semble donc jouer, par rap-

port à l'harmonique, le rôle d'un transformateur à secondaire en court-circuit. On devra par suite constater, d'une part, un accroissement de l'intensité efficace dans le rotor et, d'autre part, un amortissement de l'harmonique de la courbe de tension dans le stator.

» Cette remarque permet de se rendre compte approximativement de l'importance du courant dû à l'harmonique d'ordre n . On peut, en effet, admettre que le courant qu'il provoque dans le stator a une intensité égale au $n^{\text{ième}}$ du courant que donnerait au démarrage, avec rotor en court-circuit, une tension de période égale à celle de l'onde principale et d'amplitude égale à celle de l'harmonique. On peut admettre le même rapport d'intensités dans le rotor. De telle sorte que, si l'on a par exemple $n = 5$ et si l'amplitude relative de l'harmonique est $\frac{1}{5}$, le courant auquel il donne lieu serait égal à $\frac{1}{25}$ du courant de démarrage avec rotor en court-circuit.

» Le fonctionnement du moteur asynchrone ne semble donc pouvoir être troublé que par des harmoniques d'ordre peu élevé ayant une grande amplitude.

II. — INFLUENCE DES HARMONIQUES SUR LE FONCTIONNEMENT DES ALTERNATEURS.

» Comment le fonctionnement d'un alternateur peut-il être influencé par les harmoniques qu'il produit, ou, plus exactement, pour ne pas imputer aux harmoniques des effets qui sont dus aux causes mêmes qui les produisent, quelle différence y a-t-il, au point de vue de leur fonctionnement, entre un alternateur à courbe sinusoïdale et un autre pourvu d'harmoniques ?

» Tout d'abord la présence des harmoniques doit coïncider avec une augmentation des pertes.

» Lorsque la machine est à vide, les harmoniques de la première sorte sont sans influence à ce point de vue. Il n'en est pas de même de ceux dus aux variations de réluctance provoquées par la denture ou, plus exactement, la denture produit, en même temps que des ondulations dans la courbe de tension, des courants de Foucault dans les pièces polaires.

» Ici il est nécessaire de faire une distinction. Il y a en effet deux espèces de courants de Foucault dus à la denture : les uns limités à

la surface de la pièce polaire résultent des variations de l'induction en chaque point de cette surface; les autres, qui peuvent se produire dans la masse même des matériaux et dans les conducteurs voisins, proviennent des pulsations du flux qu'ils tendent d'ailleurs à amortir ainsi que nous l'avons vu. Les premiers existent toujours lorsque l'induit est denté; les seconds ne se présentent qu'en même temps que les pulsations de flux dues à la denture. Mais, par suite de la faible amplitude de celles-ci, même avant amortissement, les pertes qu'on peut leur attribuer sont certainement très faibles.

» Si l'alternateur est en charge, chaque harmonique de la courbe de tension produit un courant de même fréquence qui parcourt les enroulements induits et donne lieu, par conséquent, à des champs alternatifs ou tournants, susceptibles de produire des courants de Foucault dans la masse de fer ou dans les conducteurs voisins. Les courants harmoniques ne prenant une amplitude notable que si le réseau présente de la capacité, c'est, dans ce seul cas, que leurs effets sur les pertes des alternateurs peuvent être à redouter.

» Les déformations de la courbe de tension peuvent avoir aussi pour effet de produire des chutes de tension tout à fait anormales. Ce fait doit se présenter lorsqu'un harmonique présente une amplitude un peu forte à un certain régime de charge et s'amortit complètement à un autre régime.

» Si par exemple un harmonique se trouve renforcé par la capacité de telle sorte que son amplitude devienne égale à celle de l'onde principale et si, par suite d'une variation de charge du réseau, le renforcement disparaît, il se produit une variation de la différence de potentiel efficace dans le rapport de $\sqrt{2}$ à 1. Cette anomalie doit se présenter sur des réseaux présentant de la résonance pour les premiers harmoniques.

III. — INFLUENCE DES HARMONIQUES SUR LE FONCTIONNEMENT GÉNÉRAL D'UN RÉSEAU.

» Cette question se trouve déjà en grande partie traitée dans les communications sur les surtensions et dans ce qui précède.

» On peut la résumer en disant que la capacité seule rend les harmoniques dangereux ou gênants.

» Nous ajouterons seulement ici une remarque sur l'accroisse-

ment considérable que les harmoniques peuvent donner au courant de capacité des lignes aériennes de grande longueur, lorsque aucun appareil n'est relié à la ligne.

» Soit par exemple un alternateur fonctionnant sous une tension efficace de 20000 volts, ayant un courant normal de 40 ampères et un courant de court-circuit de 100 ampères, la fréquence étant 50.

» Si la capacité du réseau est de 0,6 microfarad, on voit facilement que la résonance a lieu pour l'harmonique 5 que l'on peut supposer fortement renforcé dans la courbe de tension. Admettons par exemple

$$E_5 = E_1.$$

» Le courant de capacité sera

$$I_c = 3,14 \times \sqrt{1 + 5^2 \times 1} \times 20000 \times 0,6 \times 10^{-6} = 20 \text{ ampères,}$$

soit la moitié du courant normal.

» Les conditions choisies ne paraissent pas exagérées; on n'aura donc pas lieu de s'étonner si l'on trouve dans certains cas des installations où l'alternateur débite son courant de pleine charge sur un réseau à vide.

IV. — INFLUENCE DES HARMONIQUES SUR LES INDICATIONS DES APPAREILS DE MESURE.

» Les indications de certains appareils de mesure, en particulier les wattmètres et les voltmètres, peuvent être faussées par les harmoniques.

» Pour que les indications d'un wattmètre ou d'un voltmètre soient toujours comparables, il est nécessaire que le courant dans le fil fin soit proportionnel à chaque instant à la tension aux bornes de l'appareil. Si la courbe est déformée, cette proportionnalité ne peut exister qu'à la condition que la réactance pour les harmoniques d'ordre le plus élevé soit négligeable par rapport à la résistance. On doit chercher, autant que possible, à réaliser cette condition, la correction des indications étant pratiquement irréalisable par suite des modifications continuelles de forme de la courbe de tension suivant le régime de charge du réseau.

V. — IMPORTANCE DE L'ORDRE DES HARMONIQUES.

» De ce qui précède et des discussions sur les surtensions il résulte que les harmoniques les plus dangereux sont les premiers et les harmoniques de denture; ceux d'ordre élevé ont en effet généralement une amplitude assez faible et s'amortissent d'eux-mêmes très facilement en consommant peu d'énergie.

TROISIÈME PARTIE.

Moyens d'atténuer les harmoniques par une construction appropriée des machines.

» Les déformations de la courbe de tension ayant des effets toujours nuisibles et parfois dangereux, il y a évidemment intérêt à les atténuer autant que possible par une construction appropriée des alternateurs et moteurs.

» L'alternateur idéal sous ce rapport comprendrait un inducteur et un induit séparés par un entrefer à réluctance uniforme en tous points et produisant, l'un et l'autre, des champs à répartition sinusoïdale. Il est inutile d'insister sur l'impossibilité de réaliser industriellement un pareil alternateur. Mais doit-on tendre à se rapprocher de ces conditions théoriques, ou bien n'est-il pas plus simple de chercher à atténuer les harmoniques en conservant aux alternateurs les formes pratiques usitées actuellement?

» Ce dernier parti semble le plus sage, et le constructeur dispose d'ailleurs d'un certain nombre de moyens de réaliser simplement des alternateurs ayant une bonne courbe.

» Ce sont ces moyens que nous allons passer en revue en reprenant, une à une, les différentes causes de production des harmoniques et en montrant pour chacune le remède qui semble pouvoir être apporté.

» Nous remarquerons en outre que, quelles que soient les divergences de vues sur les facteurs de surtension, tout danger paraît être écarté, dans la plupart des cas, si l'on réduit l'amplitude de

tous les harmoniques à moins de 1 pour 100 de celle de l'onde principale.

I. — HARMONIQUES DUS A LA RÉPARTITION NON SINUSOÏDALE
DE L'INDUCTION PÉRIPHÉRIQUE.

» On peut atténuer ces harmoniques et même en supprimer pratiquement quelques-uns par plusieurs procédés.

» 1° On améliore la répartition de l'induction périphérique en donnant aux pôles des proportions convenables. Il paraît possible d'annuler ainsi l'harmonique 3 et ses multiples. Dans le même but, on peut tailler en chanfrein ou arrondir les bords des pièces polaires. Mais il ne faut pas s'exagérer l'importance de ces dispositions lorsque l'entrefer a une longueur assez grande par rapport à l'interpôle.

» 2° La répartition des conducteurs de l'induit en plusieurs bobines par pôle et par phase a généralement pour effet de réduire l'amplitude des harmoniques dans la courbe de tension. C'est ainsi qu'on a cherché à réaliser une répartition sinusoidale, devant chaque pôle, des conducteurs induits, de manière à obtenir une courbe parfaite quelle que soit la répartition de l'induction périphérique. On peut en effet démontrer que, si le nombre de conducteurs de l'induit par unité d'angle est une fonction sinusoidale de l'angle, les harmoniques impairs sont tous annulés; par contre les harmoniques pairs, s'il y en a dans la courbe du champ, subsistent. Il est bien évident qu'une pareille répartition ne peut être réalisée qu'approximativement et encore au prix de complications de bobinage auxquelles peu de constructeurs voudraient se résoudre.

» Il semble préférable de se contenter d'annuler quelques harmoniques parmi les plus gênants en répartissant les conducteurs d'une même phase, sous un pôle, en plusieurs bobines, d'ouverture différente, disposées symétriquement par rapport à un même plan radial.

» L'étude de cette disposition peut se faire très simplement comme nous allons le montrer en étendant aux harmoniques la considération du facteur d'enroulement.

» La force électromotrice induite dans un fil d'un côté d'une

bobine d'ouverture 2α peut être mise sous la forme

$$\varepsilon = \sum e_n \sin(n\omega t + n\alpha - \varphi_n).$$

» De l'autre côté la force électromotrice induite dans un fil sera

$$\varepsilon' = \sum e_n \sin(n\omega t - n\alpha - \varphi_n).$$

» La force électromotrice induite dans une spire sera

$$E = \varepsilon - \varepsilon' = \sum 2e_n \sin n\alpha \cos(n\omega t - \varphi_n).$$

» Si nous avons en série p bobines, toutes symétriques par rapport à un même plan radial, ayant des ouvertures $2\alpha_1, 2\alpha_2, \dots, 2\alpha_p$ et des nombres de spires respectifs $k_1, k_2, \dots, k_p$, le facteur d'enroulement pour l'onde principale sera

$$f_r = \frac{k \sin \alpha_1 + k_2 \sin \alpha_2 + \dots + k_p \sin \alpha_p}{k_1 + k_2 + \dots + k_p} = \frac{\sum k \sin \alpha}{\sum k}.$$

» Le facteur d'enroulement pour l'harmonique d'ordre n sera

$$\frac{k_1 \sin n\alpha_1 + k_2 \sin n\alpha_2 + \dots + k_p \sin n\alpha_p}{k_1 + k_2 + \dots + k_p} = \frac{\sum k \sin n\alpha}{\sum k}.$$

» Nous appellerons facteur de réduction relative par répartition, pour l'harmonique d'ordre n , le rapport

$$\rho_r^n = \frac{\sum k \sin n\alpha}{\sum k \sin \alpha}$$

des facteurs d'enroulement de l'harmonique d'ordre n et de l'onde principale.

» Suivant que ρ_r^n sera supérieur, égal ou inférieur à l'unité, l'harmonique considéré sera renforcé, maintenu ou réduit par la répartition en plusieurs bobines des conducteurs d'une même phase.

» On annulera l'harmonique d'ordre n en annulant $\sum k \sin n\alpha$,

à la condition, bien entendu, de ne pas annuler en même temps

$$\sum k \sin \alpha.$$

» D'une manière générale, si l'on ne s'impose aucune autre condition particulière, on pourra annuler autant d'harmoniques que l'on emploiera de bobines par paire de pôles et par phase.

» Voilà du moins ce qu'indique la théorie, qu'il est facile d'étendre au cas des bobines imbriquées, en supposant effectuées les connexions entre conducteurs périphériques qui transforment les bobines imbriquées en bobines concentriques ⁽¹⁾.

» Pratiquement, il faut satisfaire à un certain nombre de conditions imposées par les nécessités de construction.

» S'il s'agit d'un alternateur monophasé on peut donner aux bobines telle ouverture que l'on veut sans autre inconvénient qu'une réduction du facteur d'enroulement. Mais il est bon d'espacer également les encoches d'un même groupe de $\frac{1}{2}$ bobines pour simplifier le poinçonnage.

» Cette condition réduit le nombre des combinaisons possibles. Toutefois on peut annuler ou rendre négligeables les quatre premiers harmoniques impairs au moyen d'un enroulement à quatre encoches par pôle régulièrement espacées. On arrive d'ailleurs au même résultat plus simplement en donnant aux épanouissements polaires la forme qui convient pour annuler les harmoniques multiples de 3 et en adoptant un enroulement à deux bobines disposées convenablement pour annuler les harmoniques 5 et 7.

» Dans l'alternateur polyphasé, il est bon de ne pas faire chevaucher les bobines de deux phases différentes et d'espacer régulièrement les encoches. Si l'on s'astreint à ces conditions, le nombre des combinaisons possibles est encore plus réduit que pour l'alternateur monophasé.

» Mais il faut remarquer dans le cas du triphasé que les harmoniques multiples de 3 ne peuvent exister dans la courbe de tension aux bornes. On démontre en effet facilement que dans le montage

(1) Il y a toutefois des réserves à faire sur la légitimité de cette théorie dans le cas d'induit denté dont les encoches ne sont pas régulièrement espacées. Ce qui suit étant établi pour un poinçonnage à pas uniforme, les conclusions restent correctes.

en étoile l'harmonique 3 et ses multiples sont annulés par la composition des tensions dans les deux branches de l'étoile comprises entre deux bornes. Dans le montage en triangle les mêmes harmoniques sont mis en court-circuit à l'intérieur du triangle (1).

» Le Tableau suivant donne les valeurs du coefficient d'enroulement pour l'onde principale et des coefficients de réduction par répartition des premiers harmoniques pour les différents cas pratiques d'alternateurs diphasés et triphasés. Les encoches sont supposées également espacées et les conducteurs en même nombre dans chacune d'elles. On remarque que les harmoniques de denture ne sont pas affectés par la répartition de l'enroulement en plusieurs encoches.

Facteur d'enroulement de l'onde principale et facteurs de réduction relative des harmoniques par répartition.

Nature de l'alternateur.	Facteur d'en- roulement.	Facteurs de réduction relative des harmoniques d'ordre					
		3.	5.	7.	9.	11.	13.
1° <i>Diphasé.</i>							
1 encoche par pôle et par phase....	1	1	1	1	1	1	1
2 encoches par pôle et par phase....	0,924	—0,414	—0,414	1	—1	0,414	0,414
3 encoches par pôle et par phase....	0,91	—0,366	—0,268	0,268	—0,366	1	—1
2° <i>Triphasé.</i>							
1 encoche par pôle et par phase....	1	1	1	1	1	1	1
2 encoches par pôle et par phase....	0,966	—0,731	0,269	0,269	—0,731	1	—1
3 encoches par pôle et par phase....	0,96	—0,64	0,226	0,181	—0,64	0,181	0,226

» 3° D'autres procédés peuvent encore être employés pour réduire l'amplitude des harmoniques dus à la répartition non sinusoïdale de l'induction périphérique. Le plus intéressant est celui qui con-

(1) MAUDUIT, *Électrotechnique appliqués*.

siste à incliner les encoches par rapport au bord des pièces polaires ou inversement.

» Notre collègue, M. Guilbert, a montré que l'on pouvait par ce procédé annuler un harmonique et réduire tous les autres dans un rapport variable avec leur ordre.

» On annule l'harmonique d'ordre m en inclinant les encoches de telle manière que l'écart entre les projections, faites parallèlement au bord des pièces polaires de chacune des extrémités d'une même encoche, soit la $m^{\text{ième}}$ partie du double pas polaire.

» Cette condition étant réalisée, l'harmonique d'ordre n est réduit

dans la proportion $\frac{\sin \frac{n\pi}{m}}{\frac{n\pi}{m}}$.

» L'onde principale se trouve elle-même réduite dans un rapport que, par analogie avec le facteur d'enroulement, on peut appeler *facteur d'inclinaison*

$$f_i = \frac{\sin \frac{\pi}{m}}{\frac{\pi}{m}}$$

» Le facteur de réduction relative par inclinaison de l'harmonique d'ordre n est

$$\rho_i^n = \frac{1}{n} \frac{\sin \frac{n\pi}{m}}{\sin \frac{\pi}{m}}$$

» Il y a un intérêt particulier à adopter une inclinaison telle que les harmoniques de denture (première sorte) soient fortement atténués, puisqu'ils ont une amplitude particulièrement grande. On pourrait supprimer l'un complètement; l'autre serait notablement réduit. Mais on peut également employer une inclinaison intermédiaire qui les réduise tous les deux et qui est telle que l'extrémité avant d'une encoche se projette, parallèlement au plan axial des pièces polaires, en regard de l'extrémité arrière de l'encoche voisine. Cette inclinaison a l'avantage, comme nous le verrons plus loin, de réduire ainsi fortement les harmoniques de denture dus aux variations de réluctance de l'entrefer.

II. — HARMONIQUES DE DENTURE (DEUXIÈME SORTE).

» Il semble donc que l'on puisse arriver à donner une forme satisfaisante à la courbe de l'alternateur à vide sans trop de difficultés, abstraction faite des harmoniques de denture (deuxième sorte).

» On voit facilement que les harmoniques produits par une variation pulsatoire du flux total conservent, aux bornes d'un enroulement quelconque de l'induit, la même amplitude relative que dans une spire unique. La répartition en bobines d'ouvertures différentes ne peut par suite être d'aucune utilité pour combattre ces harmoniques.

» Il faut donc remonter à la cause même en supprimant ou atténuant autant que possible les variations pulsatoires du flux.

» L'emploi d'encoches presque fermées permet d'atteindre ce résultat quelle que soit la forme des pièces polaires, à la condition, comme on l'a vu, de ne pas saturer la denture. Lorsque la denture est droite, on peut recourir au procédé dont nous avons déjà signalé l'efficacité pour combattre la première sorte d'harmoniques de denture, qui consiste à incliner les encoches par rapport au plan axial des pièces polaires de telle manière que l'extrémité avant d'une encoche se projette parallèlement à ce plan en regard de l'extrémité arrière de l'encoche voisine. La surface de fer de l'induit sous la pièce polaire reste ainsi constante, et la cause des variations pulsatoires de réluctance disparaît (¹). Ce procédé n'est efficace que si les encoches sont régulièrement espacées. Il peut être appliqué de deux manières différentes : la première consiste à incliner les encoches de l'induit en maintenant les génératrices de la surface polaire parallèles à l'axe de la machine.

» La seconde, d'une exécution plus facile, consiste à incliner les bords des pièces polaires en laissant les encoches parallèles à l'axe.

» Cette seconde méthode n'est pas tout à fait équivalente à la première. En effet, l'efficacité du procédé est basée sur ce que le long de toutes les lignes tracées sur la surface de l'induit, parallè-

(¹) Ce procédé a été signalé par l'auteur de la présente Note dans la Revue *l'Éclairage électrique* en juillet 1903. Une récente Communication de M. Maurice Leblanc montre qu'il avait été essayé avec succès plusieurs années avant.

lement au bord des pièces polaires, on trouve une même longueur de fer et qu'en tous les points d'une de ces lignes l'induction est la même. Ceci paraît à peu près exactement réalisé lorsque ce sont les encoches de l'induit que l'on incline. Mais, lorsqu'on agit sur les bords des pièces polaires, en laissant les encoches parallèles à l'axe, la condition peut encore être réalisée pour les points de l'induit qui se trouvent sous la pièce polaire, pourvu que les différentes sections de celle-ci, par un plan perpendiculaire, à l'axe soient identiques; mais elle ne semble plus être exactement remplie pour les franges du flux, les lignes de force s'échappant normalement au bord des pièces polaires et donnant ainsi une répartition irrégulière aux deux extrémités de l'induit. Cette remarque paraît expliquer pourquoi l'application du procédé en question a donné des résultats parfaits dans certains cas et n'a eu, dans d'autres essais, qu'une efficacité relative. On peut ajouter que dans l'une et l'autre disposition, si la denture est saturée, les dérivations de flux par les faces terminales de l'induit peuvent jouer un rôle perturbateur et faire apparaître des harmoniques qui n'existeraient pas aux faibles saturations.

» En étudiant l'application de ce procédé aux alternateurs pratiques, ayant des encoches régulièrement réparties, on est conduit à une constatation curieuse, c'est que la réduction d'amplitude relative des harmoniques devient indépendante du nombre d'encoches employé par pôle et par phase.

» Il est utile d'approfondir un peu cette question, parce que son étude conduit à fixer, approximativement, les limites de la réduction des harmoniques que l'on peut obtenir, presque à coup sûr, par une construction raisonnée des machines.

» Soit s le nombre de phases, q le nombre d'encoches par pôle et par phase.

» Les demi-angles d'ouverture des bobines d'une phase sont

$$\begin{aligned}\alpha_1 &= [(s-1)q + 1] \frac{\pi}{2q}, \\ \alpha_2 &= \alpha_1 + \frac{\pi}{sq}, \\ &\dots\dots\dots, \\ \alpha_q &= \alpha_1 + (q-1) \frac{\pi}{sq}.\end{aligned}$$

» Le facteur d'enroulement pour l'onde principale est

$$f_r = \frac{\sum \sin \alpha}{q} = \frac{1}{q} \frac{\sin \frac{\pi}{2s}}{\sin \frac{\pi}{2sq}}.$$

» Le facteur de réduction relative par répartition est, pour l'harmonique d'ordre n ,

$$\rho_r^n = \frac{\sum \sin n\alpha}{\sum \sin \alpha} = \sin \frac{n\pi}{2} \frac{\sin \frac{n\pi}{2s}}{\sin \frac{\pi}{2s}} \frac{\sin \frac{\pi}{2sq}}{\sin \frac{n\pi}{2sq}}.$$

» D'autre part, l'ordre de l'harmonique annulé par l'inclinaison des encoches correspondant à un pas dentaire est $2sq$. Le facteur d'inclinaison de l'onde principale est donc

$$f_i = \frac{\sin \frac{\pi}{2sq}}{\frac{\pi}{2sq}}.$$

» Le facteur de réduction relative par inclinaison est, pour l'harmonique d'ordre n ,

$$\rho_i^n = \frac{1}{n} \frac{\sin \frac{n\pi}{2sq}}{\sin \frac{\pi}{2sq}}.$$

» Le facteur de réduction relative totale, de l'harmonique d'ordre n , c'est-à-dire le facteur par lequel il faut multiplier l'amplitude relative de l'harmonique, dans la courbe de tension d'un conducteur unique non incliné, pour avoir la nouvelle amplitude relative, aux bornes de l'enroulement, est le produit des facteurs de réduction par inclinaison et par répartition

$$\rho_r^n \rho_i^n = \frac{1}{n} \frac{\sin \frac{n\pi}{2s}}{\sin \frac{\pi}{2s}} \sin \frac{n\pi}{2}.$$

Ce facteur est indépendant de q .

» D'autre part, le facteur composé de réduction absolue de l'onde principale, c'est-à-dire le facteur par lequel il faut multiplier l'amplitude de cette onde, dans la courbe de tension d'un con-

ducteur unique non incliné, pour avoir la nouvelle amplitude dans la courbe de tension aux bornes de l'enroulement, est

$$f_r f_i = \frac{2s}{\pi} \sin \frac{\pi}{2s}.$$

Il est également indépendant de q .

» Les formules ci-dessus ne sont pas applicables au cas où $q = 1$. On a, dans ce cas,

$$f_i = \frac{2s}{\pi} \sin \frac{\pi}{2s},$$

$$f_i^n = \frac{1}{n} \frac{\sin \frac{n\pi}{2s}}{\sin \frac{\pi}{2s}}.$$

» Donc, en valeur absolue, le facteur de réduction absolue de l'onde principale et les facteurs de réduction relative des harmoniques sont indépendants du nombre de conducteurs par pôle et par phase.

» Si l'on applique ce qui précède aux cas usuels on trouve les résultats suivants :

ALTERNATEURS MONOPHASÉS.

Facteur de réduction absolue de l'onde principale : 0,9.

Ordre des harmoniques.	Facteur de réduction relative des harmoniques.	
	$q > 1.$	$q = 1.$
3	$\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$
5	$\frac{1}{5}$	$+\frac{1}{5}$
7	$\frac{1}{7}$	$-\frac{1}{7}$
9	$\frac{1}{9}$	$+\frac{1}{9}$
11	$\frac{1}{11}$	$-\frac{1}{11}$
13	$\frac{1}{13}$	$+\frac{1}{13}$
.....	..	

(N.-B. — Le cas où $q = 1$ est ici purement théorique. L'inclinaison à laquelle il conduit est irréalisable pratiquement.)

ALTERNATEURS DIPHASÉS.

Facteur de réduction absolue de l'onde principale : 0,9.

Ordre des harmoniques.	Facteur de réduction relative des harmoniques.	
	$q > 1.$	$q = 1.$
3	$-\frac{1}{3}$	$+\frac{1}{3}$
5	$-\frac{1}{5}$	$-\frac{1}{5}$
7	$+\frac{1}{7}$	$-\frac{1}{7}$
9	$+\frac{1}{9}$	$+\frac{1}{9}$
11	$-\frac{1}{11}$	$+\frac{1}{11}$
13	$-\frac{1}{13}$	$-\frac{1}{13}$
15	$+\frac{1}{15}$	$-\frac{1}{15}$
.....		

ALTERNATEURS TRIPHASÉS.

Facteur de réduction absolue de l'onde principale : 0,956.

Ordre des harmoniques.	Facteur de réduction relative des harmoniques.	
	$q > 1.$	$q = 1.$
[3]	$-\frac{2}{3}$	$+\frac{2}{3}$
5	$+\frac{1}{5}$	$+\frac{1}{5}$
7	$+\frac{1}{7}$	$-\frac{1}{7}$
[9]	$-\frac{2}{9}$	$-\frac{2}{9}$
11	$+\frac{1}{11}$	$-\frac{1}{11}$
13	$+\frac{1}{13}$	$+\frac{1}{13}$
[15]	$-\frac{2}{15}$	$+\frac{2}{15}$
.....		

» (Les harmoniques 3, 9, 15, etc., multiples de 3, n'existent pas dans les montages ordinaires, étoile ou triangle.)

» Ce qui précède est exact quel que soit le profil des pièces polaires. Or, il semble que celui-ci puisse être choisi de telle manière que les harmoniques multiples de 3 soient sensiblement annulés, les autres ayant des amplitudes inversement proportionnelles au carré de leur ordre, dans la courbe de l'induction périodique.

» En tenant compte de l'amplification due à la denture, on aurait alors, en valeur absolue, pour les premiers harmoniques de l'alternateur triphasé à deux encoches par pôle et phase déjà pris comme exemple, les amplitudes relatives suivantes :

Ordre de l'harmonique,	Amplitude relative.		
3.....	0	soit	0
5.....	$\frac{1,25}{5^2}$		1 pour 100
7.....	$\frac{1,67}{7^2}$		0,49 —
9.....	0		0
11.....	$\frac{8}{11^2}$		0,56 —
13.....	$\frac{8}{13^2}$		0,36 —

» Ce résultat pourrait, semble-t-il, être obtenu sans grande complication de construction. Il paraît d'ailleurs à peu près réalisé par quelques alternateurs modernes. On pourra, par exemple, rapprocher ces chiffres de ceux relevés par M. David sur les alternateurs de Plan du Var.

III. — HARMONIQUES DE RÉACTION D'INDUIT.

» Il reste les harmoniques dus à la réaction de l'induit. Ceux-ci, peu importants dans les alternateurs polyphasés, y sont d'ailleurs réduits par les procédés d'inclinaison des encoches et de répartition des conducteurs déjà efficaces pour les harmoniques de la courbe à vide.

» Au contraire l'harmonique 3 dû au flux de l'induit dans l'alter-

nateur monophasé devrait être combattu. Mais il ne paraît pas exister actuellement de procédé efficace et économique pour parvenir à le supprimer.

CONCLUSION.

» En résumé, il semble possible, par quelques précautions simples dans la construction des alternateurs d'obtenir des courbes de tension qui, à vide, ne diffèrent pas à l'œil de la sinusoïde et qui ne donnent en charge, au moins dans le cas du polyphasé, que des déformations inoffensives.

» Ce résultat paraît même pouvoir être obtenu dans bien des cas sans accroissement prohibitif des dépenses de construction.

» Il appartient donc aux exploitants de décider s'ils doivent exiger des machines pratiquement sans harmoniques ou se contenter de parer au danger le plus grave de ceux-ci en se protégeant contre les surtensions qu'ils peuvent produire. »

M. le PRÉSIDENT remercie M. Guéry de son intéressante Communication.

La séance est levée à 11^h5^m du soir.

BIBLIOGRAPHIE.

La séparation électromagnétique et électrostatique des minerais, par Désiré KORDA,
1 vol. 25 × 16 de 219 pages avec 54 figures et 2 planches. Paris, journal *l'Éclairage électrique*, éditeur, 1905.

M. Korda a expliqué le but et l'utilité des procédés de séparation électrostatique et électromagnétique des minerais, dans une Communication faite devant la Société internationale des Électriciens ⁽¹⁾.

On a pu alors se rendre compte que, bien souvent, des minerais trop pauvres pour être exploitables devenaient susceptibles de procurer d'importants bénéfices lorsqu'on les avait préalablement enrichis en les séparant de leur gangue au moyen des procédés électriques.

Depuis cet exposé de la question, de nombreux progrès ont été réalisés et le moment était venu de consacrer un Ouvrage à cette branche toute spéciale. C'est le but du Volume de M. Korda qui arrive premier dans cette Partie de notre littérature.

L'Ouvrage comprend une dizaine de Chapitres dans lesquels l'auteur décrit les trieuses électrostatiques et électromagnétiques, étudie les propriétés magnétiques des minerais et développe une théorie des séparateurs ou trieuses.

Après avoir passé en revue diverses installations de triage et exposé les résultats techniques et financiers obtenus par les firmes qui exploitent ces procédés, M. Korda fait connaître le mode opératoire qui est sensiblement le même pour de nombreux corps.

En résumé, Ouvrage intéressant, résumant une série de problèmes dont l'importance ne saurait échapper.

Précis d'Hydraulique. La houille blanche, par M. Raymond BUSQUET,
1 volume de 372 pages, 49 figures. Paris, Baillière et fils, 1905.

M. Busquet a entrepris dans cet Ouvrage la tâche difficile d'exposer d'une façon élémentaire les principes de l'Hydraulique et leur application à l'étude des canalisations, roues et turbines.

Il est rare que les Ouvrages dits *élémentaires* rendent quelques services aux praticiens, mais celui-ci fera sans doute exception. Il sera précieux pour les personnes désirant se rendre compte des calculs ou du fonctionnement d'une installation hydraulique sans avoir à consulter de volumineux et très savants Traités où les renseignements pratiques sont trop souvent bien rares.

M. Busquet a eu soin, au contraire, de donner un certain nombre d'applications numériques qui éclairent heureusement le lecteur.

(1) Voir *Bulletin*, janvier 1904.

On trouvera dans ce Volume les notions générales sur le mouvement de l'eau dans les conduites; le calcul d'un réseau de distribution; les descriptions et les calculs des principaux types de roues et de turbines; le bélier hydraulique; l'étude d'une installation d'une chute avec calculs simples des barrages, des vannes, murs, etc.

Il est peut-être regrettable que l'auteur se soit étendu longuement sur les roues hydrauliques qui semblent bien démodées, tandis que la question si importante de la régulation des turbines est à peine effleurée; néanmoins, l'Ouvrage, tel qu'il est, peut déjà être utile à beaucoup.

Les applications industrielles de l'Électricité en Amérique, par MM. HOLZCHUCH, Gaston Roux, André SILVA, membres du jury à l'Exposition universelle de Saint-Louis. 1 vol. in-4° de 710 pages avec de très nombreuses figures. Paris, L. Theuveny, éditeur, 1904.

Cet Ouvrage, luxueusement édité, a pour objet de nous faire connaître l'état des applications de l'Électricité en Amérique au moment de la grande Exposition de Saint-Louis. Les auteurs ont profité de leur voyage pour visiter de nombreux centres industriels et y puiser les documents réunis dans ce Volume.

Le Volume débute par la relation de voyage des auteurs; viennent ensuite des aperçus détaillés sur les visites industrielles à Baltimore, à Chicago, à Niagara, à Philadelphie, à Pittsburg, à Schenectady, New-York, etc. Ces aperçus sont fort documentés et les auteurs ont bien saisi sur le vif les caractéristiques de l'industrie et des méthodes de travail suivies, en Amérique, dans les ateliers de construction.

Les auteurs décrivent les machines et groupes électrogènes affectés aux services de l'Exposition, puis, après avoir donné de nombreux renseignements sur les moteurs à courant continu et à courants alternatifs, les transformateurs et les commutatrices, ils abordent la question traction électrique dont les applications sont si importantes en Amérique.

Signalons encore au passage les applications de l'Électricité aux ascenseurs, treuils, grues, cabestans, ponts roulants, etc. Les documents et descriptions concernant l'appareillage des tableaux de distribution et l'équipement des lignes de transport à haute tension sont nombreux.

L'Électrochimie occupait à Saint-Louis une place importante, mais on y rencontrait peu de choses réellement nouvelles.

La France était très honorablement représentée en ce qui concerne l'éclairage électrique, la Télégraphie, la Téléphonie et les instruments de mesure. Parmi les nouveautés, il convient de citer encore les appareils de sécurité permettant de reconnaître si les câbles d'une canalisation sont en charge.

Théorie des turbines. — *Hydraulique pratique*, par G. ZEUNER, professeur et conseiller privé à la Cour royale de Saxe, traduit de l'allemand par E. KREITMANN, ingénieur des Arts et Manufactures. Paris, 1 vol. 25 × 16 cm. V° Dunod, éditeur, 1905.

Le professeur Zeuner, universellement connu par les ingénieurs mécaniciens qui se sont occupés de la distribution de la vapeur dans les machines, s'est proposé, dans le présent travail, de fournir au constructeur comme à l'ingénieur tous les renseigne-

ments théoriques qui leur sont nécessaires dans l'étude et l'application des turbines hydrauliques.

L'Ouvrage comprend deux Parties, la seconde étant elle-même subdivisée en deux.

La première Partie traite de l'Hydraulique pratique en général; on y trouve les théories relatives au mouvement des liquides et aux réactions que ceux-ci exercent sur les solides qui leur servent de conduite, même temporaire (aubage des turbines), lorsque l'arrivée du fluide s'effectue avec ou sans choc. A signaler dans cette Partie une étude fort intéressante de l'écope de Ramsbottom qui permet d'approvisionner d'eau, en marche, les tenders des locomotives des trains effectuant de longs parcours sans arrêt (plus de 180 km).

La deuxième Partie débute par l'exposé d'une théorie générale des turbines, pompes et ventilateurs. La première subdivision s'occupe des turbines axiales ou parallèles, en considérant ces machines comme réceptrices (turbines), comme génératrices (pompes, ventilateurs) et comme propulseurs. Elle se termine par une digression sur la turbine à vapeur du type de Laval, celle-ci rentrant dans la catégorie des turbines parallèles.

Les turbines radiales font l'objet de la seconde subdivision; l'auteur les sépare en turbines à injection totale et en turbines à injection partielle. La turbine radiale est ensuite étudiée comme génératrice, pompes et ventilateurs centrifuges, ainsi qu'il avait été fait à propos des turbines axiales. Enfin, dans un dernier Chapitre, M. Zeuner traite de la turbine radiale à vapeur.

Le traducteur a rendu fidèlement la pensée de l'auteur, et c'est le meilleur éloge qu'on puisse adresser dans la circonstance.

L'année électrique, électrothérapique et radiographique,
par le D^r FOVEAU DE COURMELLES. 1 vol. Paris, Ch. Béranger, 1906.

De même que pour les années précédentes, le D^r Foveau de Courmelles passe en revue, sous ce titre, les progrès dont ont bénéficié, en 1905, la théorie et les applications de l'électricité, de l'électrothérapie et de la radiographie.

Résumés de conférences, de comptes rendus, de Mémoires ou d'Articles publiés dans les Revues techniques de la France et de l'étranger, tous ces faits nouveaux, études, expériences ou appareils, et ils sont nombreux, sont répartis, selon leur nature, entre les divers Chapitres d'un Volume de 320 pages.

LISTE DES OUVRAGES

OFFERTS A LA SOCIÉTÉ INTERNATIONALE DES ÉLECTRICIENS.

(Suite.)

La Bibliothèque est ouverte aux Membres de la Société, tous les jours
de 2 heures à 5 heures, excepté les dimanches et jours de fêtes,
12, rue de Staël.

France.

- Accumulateurs (Les) et les piles électriques*, par J.-A. MONTPELLIER. Paris, J.-B. Baillière et fils, 1906; un vol. in-18 cartonné (*Encyclopédie industrielle*). (Don des éditeurs.)
- Agenda Dunod. Électricité*, 28^e édition complètement revue et augmentée, 1906, par J.-A. MONTPELLIER. Paris, H. Dunod et E. Pinat, 1906; un vol. petit in-16 relié toile. (Don des éditeurs.)
- Chili (Le) de nos jours. Son commerce, sa production et ses ressources. Annuaire national*, 2^e année, 1905-1906. Ouvrage rédigé par M. Adolfo ORTUZAR. Paris, Société anonyme de publications périodiques, P. Mouillot, [s. d.] (1906); un vol. in-8 raisin broché. (Don de l'auteur.)
- Cours de Physique de l'École Polytechnique*, par M. J. JAMIN, troisième supplément, par M. E. BOUTY. *Radiations, électricité, ionisation*. Paris, Gauthier-Villars, 1906; un vol. in-8 broché. (Don de M. Bouty.)
- Électrométallurgie (L') de l'acier*, conférence donnée le 26 décembre 1905 à l'Institut chimique de Nancy, par M. Gustave GIN. Nancy, imprimerie P. Pierson, 1905; une brochure in-8. (Don de la Société des procédés Gin.)
- Inventions (Les) industrielles à réaliser*, Recueil de 525 questions à résoudre pour répondre aux besoins actuels de l'industrie, par Hugo MICHEL. Traduit de l'allemand par Louis DUVINAGE. Paris, H. Dunod et E. Pinat, 1906; une brochure in-8. (Don des éditeurs.)
- Machine dynamo (La) à courant continu*, par E. ARNOLD. Traduction française par E. BOISTEL et E.-J. BRUNSWICK. T. II. Paris, Ch. Béranger, 1906; un vol. in-8 relié toile. (Don de l'éditeur.)
- Nouveaux (Les) appareils pour la mesure rapide des bases géodésiques*, par MM. J.-René BENOIT et Ch.-Ed. GUILLAUME. Paris, Gauthier-Villars, 1906; un vol. in-8 broché. (Don de M. Ch.-Ed. Guillaume.)
-

BULLETIN
DE LA
SOCIÉTÉ INTERNATIONALE
DES
ÉLECTRICIENS.

SOMMAIRE.

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE ANNUELLE, p. 145. — Admission de Membres titulaires, p. 146. — Dons pour l'École, p. 146. — Rapport de la Commission des Comptes (M. Brocq), p. 146. — Rapport du Comité d'Administration (M. Armagnat), p. 148. — Rapport sur l'École et le Laboratoire (M. P. Janet), p. 150. — Situation financière et bilan de la Société au 31 décembre 1905, p. 158. — Limites admissibles pour les tensions de service des câbles armés. (M. de Marchena), p. 163. — Nouveaux pyromètres thermo-électriques industriels Chauvin et Arnoux (M. Pillier), p. 183. — La lampe Cooper Hewitt à courant alternatif monophasé (M. de Recklinghausen), p. 195.

Résultat des élections au Comité d'Administration, p. 198. — Allocutions (MM. Bouty et Leblanc).

BIBLIOGRAPHIE, p. 203.

OUVRAGES OFFERTS, p. 208.

COMPTE RENDU
DE
L'ASSEMBLÉE GÉNÉRALE ANNUELLE
ET DE LA
RÉUNION ORDINAIRE MENSUELLE
du samedi 4 avril 1906 ⁽¹⁾.

PRÉSIDENCE DE M. E. BOUTY.

La séance est ouverte à 8^h40^m du soir et le procès-verbal de la réunion mensuelle de mars est adopté.

Il est donné connaissance des dons pour l'École, des Ouvrages

(¹) La Société n'est pas solidaire des opinions émises par ses membres dans les discussions, ni responsable des Notes ou Mémoires publiés dans le *Bulletin*.

offerts à la Bibliothèque (*voir* p. 208), et des demandes d'admission suivantes :

MM.

Durupt (Charles-Uldéric), Ingénieur, Directeur technique de la *Maison P. Lebauf*, 6, rue de Berne, à Paris. Présenté par MM. Chaussenot et Foureault.

Institut d'Électrotechnique et de Mécanique appliquée de la Faculté des Sciences de Nancy, 2, rue de la Citadelle, à Nancy (Meurthe-et-Moselle). Présenté par MM. Bouty et A. Mauduit.

Jourdain (Marie-Paul-Robert), Ingénieur à la *Société française Oerlikon*, 25, rue Baudin, à Paris. Présenté par MM. Blondel et Gleyre.

Semichon (Jules-Jean-Baptiste), Sous-Directeur des ateliers de la Société l'*Éclairage électrique*, 77 bis, rue Michel-Ange, à Paris. Présenté par MM. Labour et Robard.

Winch (Jean-Jules), Ingénieur électricien, à la *Maison Sautter-Harlé et C^{ie}*, 6, rue Nouvelle du Théâtre, à Paris. Présenté par MM. Bochet et Sacquet.

Ces candidats sont élus membres titulaires de la Société internationale des Électriciens.

M. le PRÉSIDENT fait part du décès de MM. *Cheswright, Louis de Martin* et Baron *Thénard*; il en exprime les regrets de la Société.

Des remerciements sont adressés au nom de la Société aux auteurs des dons suivants :

I. *École*.

MM. SCHNEIDER et C^{ie}..... Un moteur monophasé à excitation redressée, synchrone.
de 1 cheval, 1260 tours par minute, 42 périodes.

Un moteur triphasé $\frac{1}{3}$ HP. 42 périodes.

M. BOCHET..... Une bourse de voyage de 250^{fr}.

RAPPORT DE LA COMMISSION DES COMPTES POUR L'EXERCICE 1905.

M. BROcq, *Rapporteur*. — « Messieurs, au nom de la Commission nommée lors de l'Assemblée générale du 5 avril 1903, j'ai l'honneur de vous rendre compte de la mission que vous avez bien voulu lui confier.

» Conformément à ce mandat, la Commission a procédé à l'examen de la comptabilité de l'Exercice 1905, concernant la Société, le Laboratoire et l'École; elle a constaté la régularité des écritures dont le résumé vous a été remis et des bilans qui en sont la conséquence; elle s'est fait montrer les récépissés de dépôt qui

représentent les valeurs du portefeuille, elle les a trouvés parfaitement en ordre, mais se permet cependant d'émettre le vœu que ces récépissés, qui ont été l'objet de nombreuses ratures et surcharges, soient refaits dans l'exercice courant pour assurer la sécurité des vérifications ultérieures.

» **SOCIÉTÉ, SERVICES GÉNÉRAUX.** — Sans vouloir reprendre un à un les chiffres des crédits et débits des services généraux, nous ferons remarquer seulement que, malgré un chiffre brut de recettes de 35 728 fr, inférieur de 4 000 fr environ à celui de 1984, les dépenses ont pu être couvertes avec un solde créditeur de 862 fr; l'augmentation de certains chapitres a été compensée par la diminution de certains autres, parmi lesquels je citerai : la subvention au Laboratoire, en diminution de 1464 fr et les cotisations irrécouvrables qui sont de 687 fr au lieu de 1776 fr en 1904; les dons d'ouvrages divers sont portés au crédit et au débit pour 580 fr et ne figurent que pour mémoire.

» **Bilan.** — Le solde du bilan de la Société fait ressortir un avoir total de 119 836,39 fr, en augmentation de 1870 fr sur 1904.

» **LABORATOIRE.** — Le budget du Laboratoire n'est pas, au total, très différent de celui de l'année dernière; cependant il serait un peu meilleur puisqu'il se boucle avec un prélèvement moindre sur les fonds disponibles (465 au lieu de 2284) et avec une subvention de la Société inférieure de 1464 fr à celle de l'année dernière.

» Par contre, il faut observer que les frais d'essais, de déplacement et de bureau ont été plus élevés et que des sommes moins importantes ont été consacrées à l'entretien des bâtiments et des machines et à l'acquisition d'instruments.

» Le produit des essais et de la subvention des élèves, soit 33 271,05 fr, seule recette vraiment commerciale du Laboratoire, est loin de couvrir les frais généraux qui se montent à 42 314,25 fr.

» C'est là une situation qui a été étudiée déjà par le Comité, mais que nous avons néanmoins cru bon de signaler.

» **Bilan.** — Le bilan présente, comme chaque année, des diminutions parallèles de 5 000 fr de l'actif sur la valeur des constructions et du passif sur la dette Ministère du Commerce; il se solde

par un actif net de 379 793,26 fr en augmentation de 1647,30 fr sur l'année dernière.

» La caisse et les débiteurs divers figurent pour 3269 fr, tandis que les comptes des créiteurs ne se montent qu'à 289,60 fr.

» ÉCOLE. — Les comptes de l'École présentent une situation très favorable, car, en dehors du payement de toutes les dépenses de l'année, avec un faible prélèvement (1685) sur les fonds disponibles, l'emprunt a pu être complètement amorti par une somme de 17000 fr et il a été acquis pour 8329 fr d'appareils nouveaux, pendant que 2400 fr étaient consacrés à l'entretien et l'amortissement du matériel; les recettes ont été de 102895 fr contre 92460 fr en 1904, soit en augmentation de 10435 fr.

» *Bilan.* — Au bilan on retrouve un actif net de 174 932,53 fr contre 151 228,99 fr en 1904, soit une augmentation de 23 703,54 fr; les fonds disponibles et débiteurs divers se montent à 28034 fr, tandis que les comptes créiteurs sont seulement de 4800 fr environ.

» Pour conclure comme nos prédécesseurs nous dirons que, maintenant que l'emprunt est amorti, il est désirable que, chaque année, une somme assez importante soit consacrée à l'amortissement du matériel et des instruments.

» En résumé, pour les trois services : de la Société, du Laboratoire et de l'École, les bilans indiquent un avoir total de 764 525,95 fr contre 758 973,18 fr en 1904, soit une augmentation de 11 552,77 fr.

» La Commission vous propose donc d'approuver les comptes présentés et de vous associer à elle pour adresser nos remerciements à notre Trésorier et à ses collaborateurs. »

Mises aux voix, les conclusions de ce Rapport sont adoptées à l'unanimité.

RAPPORT DU COMITÉ D'ADMINISTRATION.

M. le SECRÉTAIRE GÉNÉRAL. — « Messieurs, l'année qui vient de s'écouler n'a pas été moins bonne que ses devancières, l'activité de la Société ne s'est pas ralentie. Vous allez entendre M. Janet vous

exposer tout à l'heure les résultats obtenus au Laboratoire et à l'école ; je n'ai à vous parler ici que de la Société elle-même.

» Les travaux de nos sections se développent de jour en jour pour le plus grand bien de tous. Pour ne parler que des questions qui ont donné lieu à des rapports ou à des présentations dans nos séances, nous citerons les travaux de M. Johann sur les transformateurs et de M. Guéry sur les harmoniques, qui sont le résultat des séances de la première Section. La seconde Section nous a donné, ou a provoqué, les Communications de MM. Bainville, Blondel, Janet et Lauriol sur les lampes à incandescence ; enfin, nous sommes redevables à la cinquième section du travail de M. de Valbreuze sur les éclateurs.

» La présence de M. Bouty à la présidence a déterminé l'orientation plus scientifique d'une partie de nos séances ; vous avez entendu M. Langevin vous exposer les points essentiels de la théorie des ions et M. Villard vous a montré ses expériences sur les rayons cathodiques.

» Plusieurs communications ont été la suite de discussions antérieures : celles de MM. Blondel, Boucherot et Brylinski sur les phénomènes oscillatoires des réseaux ; de MM. Boucherot et Mongin sur les régulateurs ; de M. Sarrat sur le transport de l'énergie.

» Enfin, nous avons encore eu des Communications de MM. Leblanc et de Recklinghausen sur les lampes à mercure ; de M. Maugas sur l'Électricité à bord des navires de guerre ; de M. de Marchena sur les limites de tension ; de MM. Girousse, Guillaume et Janet sur les étalons de l'ohm ; de M. Devaux-Charbonnel sur la mesure des longs câbles et de M. Swingedauw sur les courants alternatifs.

» Notre président a déjà remercié ces Messieurs en votre nom ; nous devons aujourd'hui les remercier encore de l'obligeance qu'ils ont mise à envoyer rapidement le texte de leurs Communications, ce qui a permis de faire paraître le Bulletin plusieurs jours avant la séance suivante, condition essentielle pour que des discussions vraiment utiles puissent s'élever sur les sujets traités.

» Nous avons eu à regretter la perte de MM. Wéber (Le Major Général), Picou (G.), Rothschild (Baron A. de), Peyrot, Fesquet, Laforge, Droguet, Radiguet, Arnoye, de Martin, membres fondateurs et de MM. Poinot, Potier, Poussin, Dunarintzu, Forgue, Goubaux,

Worth, Kuczynski, Luneau-Clayeux, Thénard (Baron), membres titulaires.

» Une perte nous a été particulièrement sensible : c'est celle de M. Potier; M. Bouty vous a exposé les importants travaux de M. Potier et vous a dit la part considérable qu'il avait prise à la fondation et au développement de notre Société.

» Vous savez que M^{me} Potier a tenu à s'associer à l'œuvre de son mari en nous donnant les Ouvrages les plus importants de sa bibliothèque.

» Depuis l'année dernière, notre nombre de membres est resté à peu près stationnaire. Cet arrêt dans l'accroissement régulier que nous avons constaté les années précédentes n'est pas inquiétant, si l'on considère qu'il est le résultat d'une régularisation : nous avons dû, en effet, rayer de notre liste un certain nombre de membres qui, depuis longtemps déjà, ne remplissaient pas la condition essentielle exigée par les statuts : le paiement de la cotisation. Néanmoins, comme il faut progresser pour vivre, le ralentissement des adhésions en 1905 montre que nous devons tous faire la propagande la plus active pour notre Société. »

COMPTE RENDU SUR LE LABORATOIRE CENTRAL ET L'ÉCOLE SUPÉRIEURE D'ÉLECTRICITÉ.

M. P. JANET, *Directeur de l'École et du Laboratoire*. — « Messieurs, suivant l'usage qui a été établi l'an dernier, j'ai l'honneur de présenter à l'Assemblée générale de la Société internationale des Électriciens mon Rapport annuel sur le fonctionnement du Laboratoire central et de l'École supérieure d'Électricité pendant l'année 1905.

I. — Laboratoire central d'Électricité.

» 1. *Matériel*. — Le crédit, toujours trop faible malheureusement, affecté à ce chapitre, ne nous a pas permis d'accroître autant qu'il eût été nécessaire nos moyens de travail. Signalons, cependant, l'acquisition d'une lampe étalon au pentane de 10 bougies, destinée aux recherches actuellement en cours sur les étalons pho-

tométriques, et l'accroissement continu de nos résistances non inductives destinées aux wattmètres, qui nous permettent actuellement d'entreprendre des mesures directes de puissances jusqu'à 4200 kilowatts sous 21000 volts en monophasé.

» 2. *Installations nouvelles.* — La nouvelle photométrie des arcs est complètement installée : c'est une vaste salle de 15 m de long sur 4,60 m de large et 3,70 m de haut, très soigneusement aménagée et où l'on a tenu compte de toutes les indications fournies par les expériences passées; on peut, sans hésitation, la citer pour un modèle du genre.

» Une autre installation nouvelle a été également effectuée en 1905 : c'est celle d'un Laboratoire spécial destiné aux essais des gros accumulateurs de sous-marins. Le Laboratoire central d'Électricité a passé à ce sujet une intéressante convention avec le Ministère de la Marine; désormais, tout élément d'accumulateur d'un type nouveau, c'est-à-dire n'ayant pas pris part aux concours de 1899 et de 1901 qui eux-mêmes avaient eu lieu au Laboratoire central, devra être essayé par nous conformément à un programme très étendu et très étudié dont le texte a été arrêté par le Ministère de la Marine, d'accord avec le Laboratoire : ces essais, qui portent à la fois sur l'endurance et sur la capacité, se prolongeront plusieurs mois pour chaque type d'accumulateurs, et porteront sur des éléments de 2500 ampères-heures, pesant en moyenne 250 kg. Un local et un matériel nouveaux ont dû être affectés à ces essais dans les nouveaux bâtiments acquis par la Société (anciennes ambulances urbaines); ce local comprend une première salle, affectée à un groupe électrogène de 7,5 kilowatts (500 ampères sous 15 volts), et une seconde salle, munie d'un pont roulant de 600 kg et d'un banc d'essais, avec rhéostats et appareils de couplage, destinée aux mesures proprement dites. Outre ces installations, le rez-de-chaussée du bâtiment principal de l'annexe (ancien pavillon d'habitation) a été mis en état et est prêt à recevoir de nouvelles salles de mesures.

» 3. *Essais.* — Les essais exécutés au Laboratoire en 1905 ont été au nombre de 998 contre 882 en 1904; ils se décomposent ainsi :

Paratonnerres.....	2
Divers	9
Wattmètres.....	12
Lampes à arc.....	16
Résistances.....	17
Tôles, fers, aciers.....	17
Accumulateurs.....	20
Machines.....	23
Haute tension.....	24
Isolements.....	28
Piles.....	44
Voltmètres.....	68
Ampèremètres.....	92
Lampes à incandescence.....	278 ⁽¹⁾
Compteurs.....	348
	998

» Nous signalerons, comme particulièrement intéressants, les essais suivants :

» Étalonnement sur place d'un ampèremètre de 14000 ampères, qui avait été, l'année précédente, étudié au Laboratoire;

» Étalonnements d'électromètres de 10000 à 50000 volts;

» Étalonnement de wattmètres à 5000 volts pour différentes valeurs de $\cos \varphi$;

» Étalonnement sur place de wattmètres enregistreurs triphasés à 600 volts, 50 périodes par seconde;

» Étude systématique de la self-induction de compteurs.

» Les essais de lampes à incandescence ont, comme toujours, été fort nombreux; nous citerons, en particulier, ceux qui ont été effectués pour la Ville de Paris, au moment de l'enquête sur le régime futur de l'Électricité; ils ont porté sur 260 lampes en courant continu et en courant alternatif; ce travail a donné lieu à une Communication à la Société.

» Le Ministère de la Marine, avec lequel nous avons un traité spécial, nous a, comme chaque année, chargé des essais de durée des lampes destinées à la flotte; nous devons signaler ici que grâce à ces essais réguliers ces lampes se maintiennent bien dans les conditions du cahier des charges.

(¹) Portant sur 815 lampes.

» Enfin, un grand nombre de clients s'adressent à nous pour obtenir des lampes soigneusement étalonnées qui doivent, à leur tour, leur servir d'étalons; le Laboratoire devient ainsi le régulateur des mesures photométriques françaises; nous avons, d'ailleurs, l'an dernier, signalé la concordance de nos mesures avec celles des Laboratoires étrangers.

» Nous signalerons encore les essais suivants :

» Courbe de répartition lumineuse des arcs avec charbons ordinaires ou minéralisés;

» Essais nombreux de piles;

» Essais magnétiques, portant sur des échantillons d'aciers doux (jusqu'à des inductions de 22000 dans un champ de 500), d'aciers pour aimants, ou de tôles; mesure de l'hystérésis par la méthode de l'hystérésimètre, des cycles ou du wattmètre;

» Essais à haute tension (jusqu'à 60000 volts) portant sur des isolateurs en porcelaine, en verre ou en grès, des toiles isolantes, des câbles neufs ou ayant servi, etc.;

» Détermination de courbes à l'oscillographe : ces essais s'accroissent rapidement chaque année;

» Essais d'accumulateurs, parmi lesquels nous citerons les mesures de capacité des batteries d'automobiles ayant pris part à la course Paris-Trouville, mesures effectuées avant le départ et après le retour.

» Enfin, le point le plus intéressant à signaler, qui semble indiquer une voie nouvelle pour le développement du Laboratoire, est le grand nombre de déplacements en province que notre personnel a été appelé à effectuer.

» Parmi ces essais nous citerons deux études complètes sur des installations de mines, l'une dans le midi, l'autre dans le nord de la France : ces études ont consisté principalement en mesures de consommations effectuées sur un grand nombre de machines mues électriquement (pompes du jour et du fond, ventilateurs, criblage, treuils, transbordeurs, broyeurs, mélangeurs, etc.), et ont apporté les renseignements les plus précieux sur le fonctionnement de ces appareils.

» Nous avons également procédé, dans le centre de la France, aux essais d'une usine hydro-électrique, comprenant des groupes de

1000 kilowatts avec alternateurs à 1000 volts, et transformateurs de 375 kilovoltampères $\frac{1000}{20000}$ et de 230 kilovoltampères $\frac{20000}{3000}$.

» Nous citerons, enfin, une étude complète, dans le Midi, de turbo-alternateurs avec relevés oscillographiques et mesures de rendement.

» On voit par ces exemples, que nous pourrions multiplier, combien s'étend l'autorité et le champ d'action du Laboratoire, dont le caractère entièrement scientifique et désintéressé est chaque jour plus apprécié.

4. *Recherches.* — Le service très absorbant des essais ne laisse au Laboratoire qu'un temps restreint pour les recherches; cependant, l'année 1905 a, comme les précédentes, apporté son contingent à ce point de vue : je rappellerai d'abord l'important travail exécuté, grâce à la bourse Hughes, par M. Johann, ingénieur diplômé de notre École, sur les périodes d'établissement des courants alternatifs, travail publié dans le *Bulletin* de la Société.

» Le Laboratoire, en outre, a entrepris des recherches sur les étalons de résistance mercuriels, dont les principaux résultats ont été signalés ici même, et, sur la demande de la deuxième Section du Comité, il a exécuté de nombreuses mesures photométriques sur l'intensité moyenne sphérique des lampes au tantale et à l'osmium, mesures qui ont été utilisées par M. Bainville dans sa Communication.

» Mais on peut dire, ainsi que je le signalais déjà l'an dernier, qu'un très grand nombre d'essais donnent lieu à des études dont la portée dépasse de beaucoup celle des essais eux-mêmes. Dans cet ordre d'idées, je signalerai brièvement :

» 1° Un travail sur l'influence des champs voisins, et en particulier du champ terrestre, sur la marche des compteurs et de certains appareils de mesure : cette étude doit paraître prochainement dans le *Bulletin de l'Association des anciens Élèves de l'École supérieure d'Électricité*;

» 2° Un ensemble de recherches systématiques sur la méthode du wattmètre appliquée à la mesure des pertes dans les tôles : cette étude fera l'objet d'une Communication à l'une des prochaines séances de la Société;

» 3° Une étude sur un moteur triphasé (comparaison de la méthode directe et du diagramme du cercle, étude des variations du couple de démarrage pour différentes positions du rotor, etc.).

II. — École supérieure d'Électricité.

» 1. *Matériel.* — Le matériel s'est accru cette année de différentes machines et appareils intéressants, parmi lesquels nous signalerons :

» 1° Un groupe de 3,5 kilowatts construit par la Société l'*Éclairage électrique* constitué par un moteur à courant continu, 110 volts, 1500 t : m et deux commutatrices triphasées (tension alternative composée 220 volts, tension continue 390 volts.) Ces différentes machines, susceptibles d'être reliées par accouplement élastique ou isolées les unes des autres, se prêtent à des essais variés.

» 2° Deux moteurs asynchrones triphasés de 3 kilowatts, 110 volts, tétrapolaires, à rotor bobiné aboutissant à trois bagues, et rhéostat extérieur, avec dispositif de mise en court-circuit des bagues en marche. Ce matériel, qui se prête facilement à d'intéressants essais de marche en cascade, a été construit par les établissements du Creusot.

» Outre ces acquisitions, un certain nombre de moteurs à courants continus ou asynchrones triphasés nous ont été obligeamment confiés pour les essais des élèves par les ateliers Thomson-Houston et la Société l'*Éclairage électrique*.

» La maison de Dion-Bouton nous a également confié pendant plusieurs mois un groupe électrogène à pétrole de 2,5 kilowatts sur lequel nos élèves ont pu s'exercer au maniement et à l'observation du manographe Hospitalier-Carpentier mis à notre disposition par la maison Carpentier.

» Nous sommes heureux d'adresser ici nos plus vifs remerciements à ces différentes maisons.

» 2. *Installations nouvelles.* — Je dois signaler l'établissement d'un système de ventilation de notre salle de cours, par refoulement, avec tamisage et chauffage électrique de l'air froid extérieur; cette installation remarquable a été étudiée avec le plus grand

soin par M. Chaumat, sous-directeur de l'École; la Société des anciens établissements Parvillée a bien voulu nous faire don des appareils de chauffage électrique.

» 3. *Enseignement.* — Le programme de notre enseignement n'a pas sensiblement changé cette année. On trouvera dans l'*Annuaire* de la Société tous les renseignements nécessaires à ce sujet. Je tiens cependant à signaler, parmi nos conférences complémentaires, deux très intéressantes leçons sur le radium où M. Curie a bien voulu présenter lui-même ses belles expériences à nos élèves.

» 4. *Voyages d'études.* — Le voyage d'études en Suisse et dans le Dauphiné a eu lieu par groupes individuels en 1905. En outre, deux excursions collectives ont été organisées, l'une pour la visite des ateliers du Creusot, à Champagne-sur-Seine, et l'autre pour la visite des installations électriques du port du Havre.

» 5. *Promotion 1904-1905.* — Il a été délivré, à la fin de juillet dernier, 60 diplômes se répartissant ainsi :

Officiers et Ingénieurs délégués par les Ministères.....	11
Anciens Élèves de l'École Polytechnique.....	8
Anciens Élèves médaillés des Écoles d'Arts et Métiers.....	8
Élèves étrangers, diplômés d'Écoles techniques supérieures.....	5
Anciens Élèves de l'École centrale des Arts et Manufactures.....	4
Licenciés ès sciences.....	4
Officiers de Marine et École du Génie maritime.....	3
Élèves reçus au Concours et divers.....	17
	60

» 6. *Promotion 1905-1906.* — La promotion actuellement en cours d'études comprend 80 élèves et a la composition suivante :

Licenciés ès sciences.....	15
Anciens Élèves médaillés des Écoles d'Arts et Métiers.....	11
Élèves étrangers, diplômés d'Écoles techniques supérieures.....	9
Anciens Élèves de l'École centrale des Arts et Manufactures.....	6
Officiers délégués par le Ministère de la Guerre.....	4
Anciens Élèves de l'École Polytechnique.....	3
Officiers de Marine.....	2
Ancien Élève de l'École des Mines de Saint-Étienne.....	1
Élèves reçus au Concours.....	29
	80

» 7. *Anciens Élèves.* — Le nombre total des Élèves qui ont passé par l'École supérieure d'Électricité depuis sa fondation (novembre 1894) jusqu'à ce jour est, non compris la promotion actuelle, de 652 sur lesquels 523 ont obtenu le diplôme de fin d'études. Nous continuons, autant que possible, à suivre nos anciens Élèves dans les situations qu'ils occupent, situations qui se décomposent ainsi :

Ateliers de construction.....	149
Armée et Marine	71
Stations centrales.....	45
Chemins de fer.....	42
Travaux publics.....	44
Enseignement et Laboratoires.....	34
Électrochimie.....	23
Tramways électriques.....	19
Divers.....	96
	523

» Le placement de nos Élèves continue à être facilement assuré, et la meilleure preuve en est que vers cette époque de l'année il nous est souvent difficile de répondre aux offres de situation qui nous sont adressées.

» 8. *Société amicale d'Ingénieurs sortant de l'École supérieure d'Électricité.* — Cette Association, dont nous avons, l'an dernier, indiqué l'existence et le but, continue à prospérer et à être fort utile à ses adhérents; en particulier, le service des demandes et offres de situation a pris cette année une notable expansion et fonctionne avec toute la régularité nécessaire.

» Tels sont, Messieurs, les quelques remarques que j'avais à vous communiquer sur la marche du Laboratoire et de l'École pendant l'année 1905; c'est une impression de prospérité qui ressort des chiffres et des renseignements donnés plus haut; permettez-moi, en terminant, d'attribuer une bonne partie de cette prospérité au zèle et au dévouement du personnel, sous-directeurs, chefs de travaux, préparateurs et auxiliaires, que je tiens à remercier publiquement ici. »

Ces documents sont approuvés par l'Assemblée générale.

SITUATION FINANCIÈRE.

COMPTES DE L'EXERCICE 1905.

crédit.		débit.	
I. — Services généraux.			
Cotisation libérée.....	fr 125,00	Bulletin.....	fr 16381,19
Cotisations de l'exercice...	23940,00	Frais d'administration.....	1814,25
Intérêts.....	1660,44	Personnel.....	8200,00
Produits du Bulletin.....	7592,10	Frais de correspondance.....	922,70
Profits et pertes.....	272,45	Frais de réunions.....	714,80
Dons d'Ouvrages divers...	580,00	Subvention au Laboratoire....	3000,00
Bourse Hughes :		Cotisations irrécouvrables....	687,00
Intérêts.....	1500,00	Placement au fonds social....	125,00
Prélèvement sur reliquat		Bibliothèque.....	882,70
d'arrérages.....	58,30	Bourse Hughes.....	1558,30
		Amortissement :	
		Bibliothèque.....	580,00
		Solde créditeur.....	fr 862,35
			35728,29

II. — Laboratoire.

Subvention de la Société...	fr 3000,00	Frais d'opérations et essais	
Arrérages de la rente.....	7903,00	taxés :	
Redevances pour essais		Machine à vapeur et moteur	fr 4396,15
et étalonnements.....	30584,55	à gaz.....	1039,35
Redevances des élèves et		Produits.....	477,05
tiers.....	2543,50	Atelier.....	2953,65
Don en nature.....	50,00	Déplacement du personnel..	8866,20
Amortissement :		Personnel.....	25818,15
Ministère du Commerce..	5000,00	Frais d'administration :	
Prélèvements sur fonds dis-		Frais de bureau, correspon-	
ponibles.....	465,85	dance et divers.....	2103,90
		Coke.....	359,30

195,90	4557,25
	801,85
	1333,20
	937,55
	2112,15
	70,55
5000,00	
50,00	
	49546,90

III. — École.

Redevances des élèves....	84375,00	Personnel.....	42090,60
Souscriptions.....	13250,00	Travaux des élèves :	
Intérêts des fonds placés..	283,00	Machine à vapeur et moteur	
Subvention de la Ville de		à gaz.....	1701,35
Paris.....	2000,00	Produits.....	1368,85
Profits et pertes.....	125,00	Atelier.....	3296,20
Dons de divers.....	1076,84	Frais de conférences, vi-	
Don en nature.....	100,00	sites d'usines, etc.....	17195,95
Prélèvements sur fonds dis-		Fournitures diverses.....	458,40
ponibles.....	1685,61	Frais d'administration :	
	102895,45	Frais de bureau, correspon-	
	188170,64	dance et divers.....	2437,25
		Chauffage et éclairage.....	3016,55
		Entretien des bâtiments.....	
		Entretien des machines et ap-	
		pareils.....	2381,00
		Impôts, assurances.....	1853,10
		Intérêts de l'emprunt.....	510,00
		Amortissement de l'emprunt..	17000,00
		Acquisition d'instruments et	
		de matériel.....	8329,15
		Amortissement :	
		Instruments et matériel....	100,00
			102895,45
			188170,64

BILAN AU 31 DÉCEMBRE 1905.

PASSIF.

I. — Société.

Solde des frais de publica- tions.....	fr 442,19
Cotisations anticipées.....	166,00
Bourse Hughes.....	fr 1368,19

ACTIF.

Fonds social (valeur au 31 décembre 1905) :	fr
45 obl. P.-L.-M.....	20925,00
11 obl. Est.....	5093,00
4 obl. Ouest-Algérien.....	1840,00
313 ^{re} de rente 3 %.....	10329,00
Espèces.....	fr 307,55
Fonds disponibles (valeur au 31 décembre 1905) :	38494,55
246 ^{re} de rente 3 %.....	8118,00
27 obl. S. I. E.....	2700,00
Caisse et banquier.....	10818,00
Legs Hughes (valeur au 31 dé- cembre 1905) :	3010,35
1500 ^{re} de rente 3 %.....	49500,00
Cotisations à toucher.....	1692,00
Bibliothèque.....	14640,35
Mobilier.....	1900,00
Compte d'ordre.....	fr 1149,33
	121204,58

II. — Laboratoire.

Ministère du Commerce...	fr 40000,00
Créditeurs divers.....	289,60
	fr 40289,60

Bibliothèque.....	fr 2975,40
Constructions.....	242976,83
Instruments et matériel.....	170860,04
Caisse.....	fr 416,74
	40289,60

Instruments et matériel.....	fr		
Constructions.....	121267,30	Amortissement de l'em-	
Fonds disponibles (valeur au	63436,20	prunt.....	19600,00
31 décembre 1905) :		Coupons.....	717,68
283 ^{re} de rente 3 0/0.....	9339,00	Créditeurs divers.....	4164,30
Caisse et banquier.....	20591,06	Redevances des élèves	
Débiteurs divers.....	7440,00	pour 1906.....	23825,00
Fournitures diverses pour			<u>fr</u>
élèves.....	40,55		48306,63
Cautionnement.....	143,35	Avoir net au 31 décembre 1905 :	<u>89964,77</u>
Compte d'ordre.....	979,05	Société.....	fr
		Laboratoire.....	119836,39
		École.....	379792,26
			<u>fr</u>
			674561,18
			<u>764525,95</u>

M. le PRÉSIDENT invite les Sociétaires qui n'auraient pas encore voté, à venir déposer leur bulletin dans les urnes placées sur le bureau et déclare, à cet effet, la séance suspendue pendant 10 minutes.

A la reprise, le vote est clos et, des bureaux de scrutateurs étant constitués, l'ordre du jour appelle les Communications techniques.

LIMITES ADMISSIBLES POUR LES TENSIONS DE SERVICE DES CÂBLES ARMÉS.

M. DE MARCHENA. — « Depuis 8 à 10 ans la fabrication des câbles isolés et armés ne s'est pas beaucoup modifiée, du moins en apparence et dans ses lignes essentielles; néanmoins de grand progrès ont été réalisés dans leur emploi, qui s'est étendu à des tensions de plus en plus élevées, ouvrant ainsi à cette industrie, et par contre-coup à l'industrie du transport et de la distribution de la force, un champ de plus en plus vaste.

» Les conditions dans lesquelles les réseaux de câbles souterrains sont appelés à fonctionner, les efforts accidentels auxquels leurs isolants peuvent être soumis, étaient assez mal connus il y a peu d'années; le mystère qui entourait ces questions était peu propre à encourager l'audace des exploitants; il était de nature, au contraire, à les porter à ne pas trop s'écarter des applications connues et sanctionnées par l'expérience.

» Depuis, cette question a fait, et notamment dans cette enceinte, l'objet de nombreux et remarquables travaux qui sont dans la mémoire de tous; sans aboutir encore à une doctrine incontestée, ils ont donné du moins des éclaircissements précieux et ont bien indiqué les dangers possibles ainsi que les moyens d'y remédier.

» D'autre part, la nécessité des voltages élevés s'est fait sentir de plus en plus fortement dans ces derniers temps, provoquant des applications nouvelles plus audacieuses, lesquelles ont servi à leur tour d'étapes à de nouveaux progrès.

» Il faut bien reconnaître, en effet, qu'en pareille matière il n'est possible d'innover que bien lentement et avec la plus grande prudence. L'installation d'un réseau de câbles souterrains constitue toujours une affaire importante par le montant des capitaux engagés; aussi une erreur d'appréciation, un excès d'audace ou d'optimisme, dans le choix du voltage admissible, peuvent donner lieu, pour l'exploitant et pour le fabricant, à un vrai et parfois irréparable désastre. Il ne faut pas perdre de vue, en effet, qu'en pareille matière il n'y a pas de milieu entre le succès complet et l'échec absolu. Une canalisation souterraine est, par son essence

même, placée dans de telles conditions que son usage ne devient possible qu'avec une sécurité quasi-absolue dans son fonctionnement. En effet, une ligne aérienne est visible dans toutes ses parties, elle peut facilement être surveillée; les causes des accidents qui peuvent survenir sont généralement d'une détermination facile, ce qui permet plus aisément d'en éviter le retour; enfin ces accidents peuvent être très promptement découverts et réparés. Au contraire, une canalisation souterraine échappe entièrement à toute surveillance et à tout contrôle; ses points faibles ne se révèlent que par les accidents qu'ils entraînent et dont la cause véritable est le plus souvent très difficile à discerner avec sûreté. Enfin, les avaries sont longues à rechercher et à réparer, entraînant chaque fois une interruption de service de plusieurs jours, même quand on dispose de tout le matériel nécessaire.

» En pratique, toute exploitation commerciale devient à peu près impossible dès que des accidents se produisent.

» Aussi, quelque brillants que soient les résultats des essais faits au laboratoire, quelque nombreuses que paraissent les chances de succès, au dernier moment, quand on est tenté d'innover, les chances d'échec et leurs conséquences possibles apparaissent comme un épouvantail et ramènent avec une force invincible les fabricants comme les exploitants à écouter les conseils de la prudence; on est ainsi conduit, le plus souvent, à ne pas s'écarter des conditions de fonctionnement déjà sanctionnées par l'expérience, sauf à sacrifier, dans une certaine mesure, les avantages techniques que l'on pouvait escompter de l'emploi de voltages plus élevés. Il faut un certain courage, une très grande conviction du résultat final et, en outre, la perspective d'un avantage très marqué, pour passer outre à ces considérations prudentes dont tous ceux qui ont eu à s'occuper de telles installations apprécieront le poids.

» L'ensemble des diverses installations sur le littoral méditerranéen dont j'ai eu occasion de m'occuper durant ces sept dernières années, comme ingénieur de la Compagnie Thomson-Houston, me paraît offrir un exemple typique des modifications progressives par lesquelles a passé cette question des limites de voltage à employer avec les réseaux de câbles souterrains.

» La première de ces installations date de la fin de l'année 1898; il s'agissait de desservir deux sous-stations de tramways, écartées d'environ 15 km et séparées par la ville de Nice, à l'aide d'une ligne de transport de force venant de la vallée du Var et destinée à fonctionner sous une tension de 11 000 volts.

» Quoique l'adoption pour le réseau de cette même tension de 11 000 volts eût très grandement facilité l'installation projetée, en permettant de reporter plus loin le terminus de la ligne aérienne, en évitant sa pénétration dans Nice et en supprimant toute installation de transformation, le choix de ce voltage fut écarté comme trop élevé et trop disproportionné avec tout ce qui s'était fait avant cette époque.

» A cette époque, la tension de 3500 volts constituait, en France du moins, la limite supérieure des applications des câbles souterrains; mais, dans le cas présent, cette tension était trop faible et se prêtait mal aux extensions possibles. On s'arrêta finalement au choix de la tension de 5500 volts dont l'adoption venait également d'être décidée, sur ma proposition, pour les installations de traction de la Compagnie d'Orléans, d'Austerlitz au quai d'Orsay.

» Le succès de ces deux applications fut complet. Depuis leur mise en service en 1900 jusqu'à l'heure actuelle, elles ont fonctionné d'une manière parfaitement régulière et sans donner lieu au moindre accident.

» Ces câbles répondaient aux données suivantes :

» L'épaisseur d'isolant autour de chaque conducteur était de 4 mm.

» L'ensemble des trois conducteurs était en outre séparé de l'enveloppe en plomb par une couche d'isolant d'également 4 mm d'épaisseur.

» Il y avait donc ainsi 8 mm d'épaisseur aussi bien entre deux conducteurs qu'entre conducteurs et plomb.

» A l'usine, avant expédition, les câbles avaient été essayés pendant 2 heures à la tension de 12 000 volts entre conducteurs et de 9 000 volts entre conducteurs et plomb.

» La deuxième installation date de l'année 1900. Il s'agissait alors d'amener à Nice la puissance fournie par une deuxième usine hydraulique en construction sur le Loup et qui ne pouvait guère se

raccorder avec la première qu'à travers la ville de Nice. Cette usine devait également fonctionner sous 11000 volts.

» Les très bons résultats donnés par les câbles à 5500 volts avaient encouragé dans la voie des hauts voltages et m'avaient même fait quelque peu regretter de ne pas avoir été plus audacieux lors de la première installation.

» D'autre part, l'emploi de câbles à 11000 volts présentait de tels avantages en permettant de relier les deux réseaux directement et sans l'intermédiaire d'aucune station de transformation, au point de vue des dépenses de premier établissement comme à celui de l'exploitation, qu'après une étude approfondie de la question je n'hésitai pas, malgré l'absence à peu près complète de précédent, à en proposer l'adoption. Cette proposition fut acceptée et les canalisations correspondantes posées dans le courant de l'année 1901. Elles comportaient un développement total d'environ 13,5 km en câbles à trois conducteurs de 75 mm² et la fourniture en fut confiée à deux maisons différentes dans un but d'examen comparatif. Les conditions principales de la commande étaient les suivantes :

» Chacun des conducteurs devait être recouvert d'un isolant en papier imprégné d'au moins 5 mm d'épaisseur et l'ensemble recouvert d'une couche du même isolant de 4 mm d'épaisseur, de manière à réaliser une épaisseur d'isolant d'au moins 9 mm entre conducteurs et plomb et d'au moins 10 mm entre deux conducteurs.

» Aux essais faits à l'usine, l'isolement kilométrique entre un conducteur et le plomb devait être d'au moins 4000 mégohms, et après pose d'au moins 1000 mégohms.

» Avant expédition, les diverses bobines devaient être essayées pendant 2 heures sous une tension de 22000 volts entre deux conducteurs et de 18000 volts entre conducteurs et plomb.

» Les fournisseurs avaient à leur charge toutes les dépenses d'entretien de la canalisation pendant 2 ans, à dater de la mise en service.

» Les essais prescrits au cahier des charges furent effectués avec le plus grand soin, aux usines de fabrication, et donnèrent tous des résultats favorables et conformes aux conditions imposées.

» La mise en service eut lieu dans les premiers jours de l'année 1902, après une pose qui, vers la fin, dut s'effectuer dans des condi-

tions climatériques peu favorables et avec une certaine précipitation.

» Les premiers résultats de cette expérience ne furent guère encourageants. De nombreux accidents se produisirent durant les premiers mois avec une désespérante persistance qui, ce rendit l'exploitation des plus pénibles et la plaça même dans une situation extrêmement critique pendant tout le cours de cette année. Depuis le 31 janvier 1902 jusqu'au 9 août de la même année, il n'y eut, en effet, pas moins de treize courts-circuits qui se produisirent, la plupart sans cause apparente et dans les conditions de service les plus variées. Ils furent d'abord attribués aux harmoniques de denture des alternateurs, et ceux-ci furent modifiés de manière à les atténuer grandement. Mais cette modification, terminée au mois de mai, n'eut pas d'influence bien sensible puisque plusieurs autres accidents se produisirent dans les trois mois qui suivirent.

» Dans cette situation, on envisagea un moment l'éventualité de renoncer à l'emploi de la tension de 11000 volts pour cette canalisation et d'installer, à ses deux extrémités, deux puissants postes de transformateurs, pour ramener la tension de service à 5500 volts. Mais, au fur et à mesure que ces accidents se produisaient, nous constatons qu'ils se localisaient tous sur environ 300 m de la fourniture d'un des fabricants et sur environ 1300 m de la fourniture de l'autre. Nous primes donc finalement la décision de remplacer environ 1600 m de la canalisation en question; ce remplacement fut effectué avec un soin tout spécial, principalement pour la section de 1300 m qui était posée en terrain très peu favorable.

» Les prévisions qui avaient conduit à prendre cette décision furent tout à fait confirmées par l'expérience. En effet, le fonctionnement devint parfait, et depuis ce moment jusqu'à l'heure actuelle nous n'eûmes plus à constater un seul court-circuit.

» Dans les années suivantes le réseau de distribution à 11000 volts s'étendit considérablement dans Nice, puis vers Beaulieu et Monaco et aussi dans Cannes. Nous n'hésitâmes pas à avoir recours, pour ces diverses extensions, aux câbles souterrains et toujours avec plein succès. Toutefois, à la suite de l'expérience faite sur les premières canalisations, les conditions de commande furent assez sensiblement modifiées, principalement en ce qui concernait les essais aux usines de fabrication et les essais après pose.

» Les tensions d'essai aux usines furent portées à 30 000 volts pendant 1 heure et 40 000 volts pendant 1 minute.

» Après pose, les canalisations furent essayées à la tension de 20 000 volts appliquée pendant 2 heures.

» Par contre, les valeurs de l'isolement kilométrique furent réduites à 1 000 mégohms aux essais à l'usine et à 500 mégohms aux essais après pose.

» Les épaisseurs minima d'isolant restaient toujours fixées à 10 mm entre deux conducteurs.

» Tous ces câbles furent soigneusement réceptionnés avant expédition et des essais à la rupture faits sur des échantillons de faible longueur pour se rendre compte de la valeur réelle du coefficient de sécurité réalisé. Ces essais ne donnèrent pas lieu à rupture avant 55 000 volts et souvent même celle-ci ne put être produite aux tensions qu'il était possible de réaliser durant ces expériences.

» Ces nouvelles canalisations furent successivement mises en service en 1903, 1904, 1905, et aucune n'a donné lieu jusqu'à l'heure actuelle à *aucun accident d'aucune sorte*.

» Actuellement le réseau des câbles souterrains à 11 000 volts possède un développement de plus de 45 km, dont la sécurité de fonctionnement peut être considérée comme *absolue*. Depuis cette époque l'usage, pour les canalisations souterraines, de la tension de 11 000 volts s'est beaucoup répandu aussi bien en Amérique qu'en Europe et cette tension tend maintenant à devenir classique pour les grandes distributions urbaines d'énergie et à remplacer complètement les tensions de 5500 à 6000 volts auxquelles on s'était d'abord borné à Paris, à Londres, à Berlin et à New-York pour les installations de ce genre.

» *Essais à 28 000 volts.* — Cependant et quelque grandes que fussent déjà les facilités obtenues par la possibilité d'emploi d'une tension aussi élevée que 11 000 volts, les circonstances pouvaient faire désirer d'aller plus loin. Précisément durant l'année 1903 étaient à l'étude divers transports de force importants et qui devaient comporter l'emploi d'une tension de service de 28 000 à 30 000 volts.

» L'emploi de câbles armés pouvait être très séduisant pour la

pénétration au cœur du centre de distribution; il donnait toutes les facilités désirables pour le choix du nombre et de la position des stations terminales de transformation, et il écartait d'autre part les inconvénients d'ordres très divers que présentait l'emploi de lignes aériennes très importantes au voisinage d'agglomérations considérables.

» D'un autre côté, et abstraction étant faite de l'intérêt que présentait la question pour une installation particulière, il y avait un intérêt général à rechercher s'il était pratiquement possible de reculer considérablement les nouvelles limites admises pour l'emploi de câbles armés. Les essais faits au laboratoire autorisaient cet espoir. Toutefois, une expérience, pour être concluante et pour autoriser une application dans des conditions entièrement nouvelles, devait, aussi complètement que possible, se rapprocher des circonstances dans lesquelles les câbles souterrains sont appelés à fonctionner en service normal.

» Dans cet ordre d'idées il n'existait, à ma connaissance, qu'un seul exemple d'emploi sous une tension de service nettement supérieure à 11 000 volts. Cet exemple était fourni par le transport de force de Sainte-Croix à Saint-Paul (États-Unis). Ce transport de force comporte, à la suite immédiate d'une ligne aérienne triphasée de 40 km de longueur, fonctionnant sous 22 000 volts, deux câbles à trois conducteurs, de 5 km de longueur, constituant la dernière section de la canalisation pour la pénétration dans la ville de Saint-Paul.

» De ces deux câbles, l'un est isolé au caoutchouc, avec une épaisseur d'isolant de 5,5 mm autour de chaque conducteur, et de 4 mm autour de l'ensemble des trois; le second est isolé au papier, avec une épaisseur d'isolant de 6,5 mm autour de chaque conducteur, et de 3 mm autour de l'ensemble des trois.

» D'après les renseignements qui m'ont été fournis par M. l'Ingénieur-conseil de cette entreprise, M. H. Floy, les deux câbles se seraient très bien comportés et auraient assuré le service d'une manière très régulière depuis la mise en marche jusqu'à l'heure actuelle, c'est-à-dire depuis environ 4 ans.

» L'occasion d'une expérience se présenta en France vers la fin de l'année 1903.

» A ce moment un transport de force sous tension de 28 000 volts, appartenant à la Société *l'Énergie électrique du Littoral méditerranéen*, était en cours d'exécution pour desservir Toulon, au moyen d'une usine hydraulique en établissement sur l'Argens.

» La ligne aérienne devait se terminer à proximité immédiate de Toulon, à un poste de transformateurs abaissant la tension à 3500 volts pour la distribution à l'intérieur de Toulon. Il était possible d'intercaler dans le circuit, à l'arrivée de la ligne dans le poste, une boucle partant et se terminant en un même point et constituée par une certaine longueur de câbles armés. Ceux-ci pouvaient ainsi être mis en circuit en formant un prolongement artificiel de la ligne aérienne ou être retirés de ce circuit. L'expérience pouvait ainsi être faite sans aucun risque pour l'exploitation du transport de force de Toulon.

» Les deux maisons qui avaient déjà fait la fourniture du réseau de câbles à 11 000 volts établi dans le département des Alpes-Maritimes mirent le plus grand empressement et le plus louable esprit d'initiative à se prêter à cet essai auquel, de son côté, *l'Énergie électrique* donna tout son concours.

» L'essai porta sur deux longueurs d'environ 1400 m fournies chacune par un des fabricants et constituant deux boucles entièrement distinctes pouvant être mises en circuit soit séparément, soit simultanément. Cette mise en circuit avait lieu immédiatement après l'entrée de la ligne. Celle-ci était munie à son arrivée et à son départ d'un poste de parafoudres système Wirt, et, comme son point neutre était mis à la terre, ces parafoudres formaient en même temps limiteurs de tension pour les câbles. Ils étaient réglés pour ne s'amorcer qu'entre 35 000 et 40 000 volts, c'est-à-dire pour un voltage sensiblement égal à 2,5 fois le voltage normal entre conducteurs et terre et 1,4 fois le voltage normal entre phases.

» Les câbles essayés comportaient tous 3 conducteurs de 25 mm² ; mais ils furent de trois types différents.

» Le premier type A, fourni par un des constructeurs, était isolé comme suit :

» Chaque conducteur était formé de 19 fils dont 12 disposés sur la périphérie de chaque corde étaient isolés séparément par une feuille de papier d'environ $\frac{1}{4}$ de millimètre. Chaque conducteur ainsi con-

stitué était recouvert par une couche d'isolant en papier imprégné de 7 mm d'épaisseur. Les trois conducteurs étaient ensuite accolés ensemble et avec 3 cordes de chanvre placées dans les intervalles, de manière à obtenir, pour l'ensemble, une section à peu près circulaire. Le tout était tordu en une hélice ayant 1 m de pas environ, puis recouvert d'une épaisseur de 7 mm d'isolant et d'une bande de toile. Ensuite venaient la gaine en plomb, le matelas de filin goudronné et les armatures de feuillard et bandes de toiles goudronnées.

» Le câble une fois terminé possédait un diamètre extérieur d'environ 85 mm.

» Le second constructeur fournit deux types, B et C, assez sensiblement différents du type A.

» Dans le type B, les 3 conducteurs étaient composés chacun de 19 fils sans aucun isolement individuel et recouverts chacun par une couche de papier imprégné, ayant au total 7 mm d'épaisseur. Le diamètre extérieur de ce câble était d'environ 65 mm.

» Le câble C était constitué d'une manière semblable au câble B, mais les épaisseurs d'isolant autour de chaque conducteur étaient sensiblement réduites.

» Ces données différentes avaient été choisies intentionnellement pour rendre l'expérience aussi instructive que possible et lui permettre de mieux fixer les limites extrêmes admissibles pour le fonctionnement d'un câble armé d'isolement déterminé. En effet, le type C s'écartait très peu des spécifications admises pour les câbles souterrains à 11 000 volts, fournis à peu près vers la même époque, et l'on avait d'assez forts doutes sur son aptitude à résister à des conditions de service aussi dures.

» Les conditions de la commande prescrivaient pour ces câbles les essais ci-après :

a. Entre deux conducteurs	{ 60 000 volts pendant 1 heure 80 000 volts pendant 1 minute
b. Entre conducteurs et plomb....	{ 36 000 volts pendant 1 heure 50 000 volts pendant 1 minute

» Après mise en place l'ensemble de la canalisation devait être soumis à une tension de 26 000 volts prolongée pendant 1 heure entre conducteurs et plomb.

» En réalité, les tensions spécifiées furent dépassées notablement

aux essais et poussées jusqu'à 55 000 ou 60 000 volts entre conducteurs et plomb et de 85 000 à 90 000 entre deux conducteurs.

» Des essais de claquage furent, en outre, faits sur des échantillons de faible longueur et permirent de constater qu'ils résistaient aux plus hautes tensions (au delà de 90 000 à 95 000 volts) qu'il était possible de réaliser aux laboratoires d'essai.

» La pose fut effectuée dans le courant de l'été 1904, avec toutes les précautions d'usage; le câble A, livré en longueurs d'environ 110 m à 120 m, comporta 11 boîtes de jonction; les câbles B et C de plus faible section furent livrés en longueurs de près de 200 m, et leur circuit ne comporta que 7 boîtes de jonction.

» Le premier câble fut mis en charge le 7 novembre 1904 après avoir été essayé une heure à la tension de 30 000 à 31 000 volts, le point neutre étant à la terre. Puis la connexion à la terre du point neutre fut supprimée, une des phases mises à la terre et le câble soumis dans ces conditions, pendant 5 minutes, à une tension de 28 000 volts.

» Le 28 janvier 1905, les mêmes essais furent effectués sur le second câble, et l'expérience commença le même jour par la mise en service de ce câble. Elle se prolongea jusqu'au mois d'août en donnant lieu aux différentes observations résumées par le Tableau ci-après :

	Câbles A.	Câbles B et C.
7 nov. 1904.	Essai du câble à 30 000 volts entre phases et à 28 000 volts entre chaque fil et la terre, laissé en service sur le réseau la journée du 8 novembre, puis coupé.	
28 janv. 1905.		Essai du câble à 30 000 volts et mise en service sur le réseau.
14 févr. 1905.	Mis le câble en service. A partir de cette date, les câbles sont mis en service alternativement une semaine chacun environ; ils ont supporté les incidents suivants :	Enlevé le câble du réseau.
Février.....	Orage violent, décharges aux parafoudres du Brunet (station réceptrice).	
Février.....		Orage violent, décharges aux parafoudres du Brunet.

	Câbles A.	Câbles B et C.
Mars.....	Court-circuit sur la ligne aérienne.	
Mars.....		Court-circuit sur la ligne aérienne.
17 avril		Orage, décharges aux parafoudres du Brunet.
30 avril	Mise en parallèle des deux câbles.	
15 mai	Déclenchement de l'interrupteur automatique de l'usine génératrice.	
14 juin.....	Accident du câble A remis en service le 30 juin.	
24 juin.....		Enlevée du circuit pour permettre la réparation du câble A.
1 ^{er} juillet...	Remise en parallèle des câbles.	
3 août.....	Enlèvement définitif du circuit.	

» Dans ce Tableau, les orages les plus violents sont seuls mentionnés; il y en a eu un assez grand nombre d'autres, dont quelques-uns même donnèrent lieu à des incidents sur les lignes et à l'usine génératrice hydraulique.

» De même, les ruptures de courant en charge, par suite du déclenchement des interrupteurs automatiques, sont loin d'être toutes portées. Chacun des deux câbles en a subi un grand nombre.

» Quant à l'accident survenu au câble A et mentionné dans ce Tableau, il se produisit dans les circonstances suivantes :

» Dans la nuit du 14 au 15 juin, alors que le réseau fonctionnait normalement et qu'il n'y avait aucun orage sur le parcours des lignes, il se produisit un court-circuit qui amena le déclenchement des interrupteurs à haute tension de l'usine génératrice. Les câbles furent aussitôt enlevés du circuit et le réseau remis en route.

» Le lendemain, il fut constaté que le câble A avait trois conducteurs en court-circuit franc; l'isolement à la terre était resté bon. Les câbles B et C étaient indemnes et furent remis en service la nuit suivante.

» Le défaut du câble A fut trouvé facilement; c'était un court-circuit dans une boîte de jonction, entre les trois conducteurs, à l'endroit où ils commençaient à s'écarter à l'entrée de cette boîte.

» D'un examen minutieux il sembla résulter que la boîte avait légèrement glissé à la suite d'un affaissement du terrain. Toutefois,

ce premier défaut réparé, il en apparut un autre entre deux conducteurs en plein câble à 25 m du premier et qui, très probablement, dut se produire par la surtension occasionnée par le premier court-circuit.

» Une fois la réparation terminée, le câble A fut remis en service le 30 juin et y resta jusqu'au 3 août, fin de l'expérience, sans donner lieu à d'autre incident.

» Il y a également lieu de noter que les câbles B et C étaient en parallèle avec le câble A au moment de l'accident et qu'ils résistèrent néanmoins très bien sans paraître souffrir aucunement de la surtension qui put se produire à ce moment.

» En résumé, pendant toute la période de près de 6 mois, durant laquelle l'expérience se prolongea, on n'eut à constater aucune avarie aux câbles B et C et une seule au câble A, cette dernière trouvant d'ailleurs une explication plausible dans une cause mécanique étrangère à la bonne fabrication du câble.

Conclusions.

» Les résultats de cette expérience peuvent donc être considérés dans leur ensemble comme très satisfaisants et très encourageants pour l'emploi des hautes tensions. Venant à la suite de l'expérience faite durant plusieurs années à Saint-Paul, ils montrent la possibilité de fonctionner avec sécurité sous des voltages de service bien supérieurs à 11 000 volts. Je ne veux pas dire par là qu'ils soient absolument concluants pour ce qui concerne la tension de 30 000 volts, car l'essai n'a malheureusement pas duré assez longtemps et il n'a pas porté sur des longueurs de canalisations suffisamment importantes (il ne faut pas oublier en effet que la probabilité des accidents augmente proportionnellement avec la longueur des canalisations). Toutefois, ils permettent, même en se donnant un coefficient de sécurité raisonnable par rapport aux conditions dans lesquelles l'expérience a été faite, de reculer considérablement la zone dans laquelle on peut se risquer sans imprudence.

» Ainsi, pour ce qui me concerne, je ne craindrais pas maintenant d'employer des câbles, analogues au type B de cet essai, sous des tensions de service de 20 à 22 000 volts, et il y a lieu de remar-

quer que ces câbles restent, comme dimensions et comme prix de revient, dans des limites très satisfaisantes, de sorte qu'aucune objection pratique ni d'ordre financier ne s'opposerait à cet emploi.

» Pourrait-on aller plus loin et jusqu'à quelles limites peut-on espérer arriver avec les conditions actuelles de fabrication des câbles souterrains?

» Il est assez difficile de faire à cette question une réponse absolue, mais on peut examiner les raisons qui limitent forcément les tentatives dans cette direction et en déduire des conclusions instructives.

» Les matières employées pour l'isolement des câbles au papier sont toujours (quelque mystère qu'en fassent les fabricants) un mélange de matières résineuses et huileuses, dont les proportions et les provenances peuvent être modifiées, mais dont on ne peut espérer augmenter beaucoup la résistance à la rupture; cette résistance peut atteindre 12 000 à 15 000 volts par millimètre d'épaisseur de papier imprégné, mais on ne peut guère aller au delà avec les substances actuellement en usage.

» D'autre part, on ne peut pas augmenter sans limites les épaisseurs d'isolant; en effet, on ne peut dépasser pour les câbles au papier une certaine section transversale, au delà de laquelle, d'une part, l'imprégnation au cœur tendrait à se faire d'une manière moins satisfaisante, et, d'autre part, l'enroulement sur bobines et la manutention pour la pose deviendraient difficiles. Je crois qu'il convient de ne pas dépasser, pour les câbles souterrains, un diamètre extérieur de 80 mm à 85 mm, et que mieux vaut même ne pas dépasser 70 mm.

» D'ailleurs la théorie indique qu'à partir d'un certain point une augmentation de l'épaisseur de l'isolant ne procure qu'un faible bénéfice au point de vue de la diminution de la fatigue des isolants.

» Dans le cas le plus simple d'un câble à un seul conducteur dans lequel la distribution du flux électrique se fait symétriquement autour des conducteurs, la répartition du potentiel à l'intérieur du diélectrique ne se fait pas suivant une loi linéaire, mais bien suivant une loi logarithmique de la forme

$$v = \frac{V[A - \log(r + x)]}{B}.$$

» Par suite, la différence maxima de potentiel par millimètre d'épaisseur d'isolant est sensiblement supérieure à sa valeur moyenne et est donnée par la relation

$$\left(\frac{\partial v}{\partial x}\right)_{\max} = \frac{V}{r \log \frac{r+e}{r}}.$$

» Formules dans lesquelles

V représente la différence de potentiel entre le conducteur et l'enveloppe en plomb ;

r représente le rayon de ce conducteur supposé cylindrique ;

e représente l'épaisseur de l'isolant.

» Cette dernière formule montre qu'à partir d'une certaine valeur de e , la valeur de $\left(\frac{\partial v}{\partial x}\right)_{\max}$ est peu influencée par une augmentation de l'épaisseur e .

» En pratique, il convient de ne pas dépasser pour e une valeur égale au diamètre du conducteur à isoler.

» Les mêmes formules peuvent, approximativement, s'employer pour les câbles à trois conducteurs, à condition d'adopter pour le voltage V la tension étoilée.

» On a proposé, pour améliorer l'utilisation de l'isolant des câbles armés, de les constituer de manière à y répartir d'une manière plus régulière la distribution du potentiel. Pour cela, les uns ont proposé d'imprégner d'une manière différente les différentes couches de papier isolant, de manière à obtenir des valeurs différentes pour leurs pouvoirs inducteurs spécifiques, les valeurs les plus grandes étant employées au voisinage des conducteurs et les plus faibles sur la périphérie. Toutefois, étant données les conditions courantes de fabrication des câbles au papier, un tel procédé paraît plutôt théorique que susceptible d'une réalisation pratique.

» Un autre fabricant a proposé de constituer des câbles d'une manière mixte en employant autour des conducteurs d'abord des couches de caoutchouc de grande rigidité électrostatique et de pouvoirs inducteurs spécifiques successivement décroissants (ce qu'il est possible de réaliser par l'incorporation dans le caoutchouc de divers produits étrangers), et enfin de réserver le papier imprégné pour les couches extérieures.

» Je ne sais pas quels résultats ont été obtenus en pratique par ce système, toutefois je doute fort qu'ils soient de nature à compenser l'augmentation très considérable qui doit en résulter pour le prix de revient.

» Je crois que, pour les câbles triphasés à haute tension, une meilleure utilisation de l'isolant peut très simplement être obtenue par la réduction, ou même par la suppression, de l'enveloppe isolante autour de l'ensemble des trois conducteurs. Cette suppression qui ne présente que des avantages au point de vue mécanique, permet, pour un même diamètre extérieur du câble, d'augmenter considérablement l'épaisseur d'isolant entre conducteurs; on objectera que l'épaisseur d'isolant entre conducteurs et plomb est notablement diminuée, mais il ne faut pas perdre de vue que la différence de potentiel correspondante est aussi beaucoup moindre en service normal, et qu'on peut admettre un coefficient de sécurité moins grand pour les cas exceptionnels où une phase viendrait à se mettre franchement à la terre; d'ailleurs, dans les transports de force à très haute tension, ce cas est très rare et il est préférable à tous les points de vue d'en écarter complètement la possibilité en mettant d'une manière permanente le point neutre à la terre.

» Les épaisseurs maxima d'isolant se trouvent à peu près déterminées d'après les considérations qui précèdent. Pour les câbles à trois conducteurs, on peut estimer entre 16 mm et 20 mm la limite maxima pratique de l'épaisseur d'isolant entre conducteurs. Pour des câbles à un conducteur, cette limite pourrait être encore très sensiblement reculée; mais, malheureusement, de tels câbles ne sont guère d'un emploi admissible avec les courants alternatifs aux fréquences usuelles.

» Ces limites admises, on est ensuite conduit à chercher jusqu'à quel point on peut faire travailler les isolants avec sécurité, c'est-à-dire quelles sont les limites admissibles pour les différences maxima de potentiel par millimètre d'épaisseur.

» Il y aurait grand intérêt pour cela à mieux connaître les conditions, très mal déterminées à l'heure actuelle, qui président aux ruptures de l'isolant des câbles. Ces ruptures se produisent le plus souvent d'une manière très capricieuse, sans raison apparente et parfois après de longues périodes de bon fonctionnement.

» Comme j'ai eu déjà l'occasion de l'indiquer, ces ruptures ne sont que bien rarement dues à des phénomènes de surtension. Je suis plutôt porté à croire que, quand certaines limites de tension correspondant à un certain coefficient de sécurité sont dépassées, il se produit un phénomène de désagrégation lente en certains points de l'isolant possédant une moindre rigidité électrostatique ou un plus haut pouvoir inducteur spécifique et qu'ainsi la résistance vient à être peu à peu altérée par points, ce qui, finalement, occasionne une rupture complète de l'isolant. Ce phénomène pourrait être rapproché de celui qui a été constaté sur certaines lignes aériennes à très haute tension, dont les isolateurs avaient été établis, par surcroît de précaution, sur des supports en bois paraffiné. Il est souvent arrivé que ces supports se sont lentement carbonisés et ont été finalement détruits sans qu'il y ait eu production de court-circuit franc.

» Aussi me paraît-il que, d'une part, une homogénéité aussi parfaite que possible est une condition essentielle de la fabrication des câbles armés à haute tension et que, d'autre part, le choix d'un bon coefficient de sécurité constitue pour leur emploi la meilleure garantie, et j'ajouterai même la seule efficace.

» Ces coefficients de sécurité sont destinés à couvrir deux ordres de faits :

» 1° L'affaiblissement dans la résistance du câble qui provient du fait des manutentions diverses qu'il subit, depuis les essais à l'usine jusqu'à la mise en service ;

» 2° Les surtensions possibles par rapport aux tensions de service auxquelles les câbles peuvent être soumis.

» L'expérience actuelle me conduit à penser que, pour les câbles destinés à fonctionner sous tension de 5000 à 20000 volts, un coefficient de 3 à 4 est désirable pour les essais à l'usine et un coefficient de 2 pour les essais après pose (ce dernier coefficient ayant principalement pour but de s'assurer une marge suffisante vis-à-vis des phénomènes de surtension).

» En outre, des essais de rupture répétés doivent être faits sur des tronçons de faible longueur, afin de constater la régularité de la fabrication et de s'assurer que les tensions d'essai restent encore suffisamment loin des tensions de rupture pour ne pas risquer d'en-

dommager les isolants des câbles. Il est bon, malgré cela, de ne maintenir que peu de temps la tension maximum d'essai et de la baisser ensuite aux deux tiers ou aux trois quarts de sa valeur pour l'essai de longue durée. Il se peut, en effet, qu'un essai trop prolongé à la tension maximum dépasse les limites de résistance de certaines parties de l'isolant et, sans le perforer entièrement, qu'il y produise des dégâts qui l'affaiblissent et préparent ensuite des ruptures en service.

» Ces coefficients de 3 à 4 sont élevés et conduisent rapidement à des tensions d'essai très considérables et qui dépassent bientôt les limites compatibles avec les épaisseurs d'isolant possibles.

» Pourrait-on diminuer ces coefficients de sécurité de manière à faciliter l'abord de tensions plus élevées ?

» Tous les perfectionnements qui se produiront dans la fabrication, qui permettront de diminuer les chances d'affaiblissement d'ordre mécanique des câbles et d'améliorer leur homogénéité, permettront évidemment de concourir à ce résultat.

» Dans cet ordre d'idées, les fabricants ne doivent pas perdre de vue que les câbles ne doivent pas être fabriqués seulement dans le but de réaliser les meilleurs essais de laboratoire, mais surtout pour conserver à la mise en place le maximum de leurs qualités; ils doivent donc réaliser la meilleure résistance *aux effets mécaniques*. Le papier ne doit jamais devenir cassant par l'imprégnation; il doit, au contraire, conserver après la cuisson le maximum de ténacité et de souplesse.

» Les manutentions, et surtout le déroulage des câbles, ne doivent pas se faire par des températures inférieures à 8° ou 10° C.

» En outre, toutes les précautions désirables doivent être prises pour l'emballage des câbles, leur mise en place et la façon des boîtes de jonction.

» Je dois signaler en passant qu'à ce point de vue la méthode d'emploi des câbles souterrains, usitée en Angleterre et aux États-Unis, me paraît présenter un certain avantage sur la méthode employée en France.

» Dans cette méthode, le câble est simplement mis sous plomb et expédié sans armature extérieure; à la mise en place il est déroulé tel quel dans des conduites en poterie vitrifiée, ce qui permet de con-

stater très facilement s'il n'a subi aucune avarie en cours de route, la moindre avarie se remarquant très nettement sur l'enveloppe en plomb, au moment où le câble est enfilé dans sa conduite en poterie.

» En outre, par ce système de pose, la canalisation se trouve complètement à l'abri de toute cause d'avarie mécanique ou chimique venant de l'extérieur.

» Pour ce qui concerne la diminution de la partie du coefficient de sécurité à affecter aux phénomènes de surtension, je suis assez porté à croire que la question se pose favorablement pour les hautes tensions. A mon avis, l'importance *relative* de ces phénomènes tend à diminuer au fur et à mesure que les tensions de service augmentent. Alors que ce facteur me semble prédominant pour les tensions modérées de 3000 à 5000 volts, il me semble beaucoup moins influent lorsqu'il s'agit de tensions très élevées.

» Prenons, par exemple, la formule classique des surtensions dues aux interruptions de courant :

$$v = I\sqrt{\frac{L}{C}},$$

où v est le voltage de surtension; I l'intensité du courant coupé; L et C la self-induction et la capacité du circuit.

» Cette formule peut se mettre sous l'une ou l'autre des deux formes suivantes :

$$v = E\sqrt{\frac{L\omega I}{E}} \times \sqrt{\frac{I}{EC\omega}},$$
$$v = \sqrt{\frac{EI}{C\omega}} \times \sqrt{\frac{L\omega I}{E}},$$

où E est la tension de service et ω la fréquence.

» Dans ces relations $\frac{L\omega I}{E}$, qui représente la proportion de réactance du circuit, est sensiblement indépendant du voltage.

» $EC\omega$ représente le courant de capacité!

» Sous la première forme, on voit que $\frac{v}{E}$ diminue rapidement avec le voltage E , puisque, toutes choses égales d'ailleurs, le rapport du courant de capacité au courant de pleine charge augmente rapidement avec le voltage.

» Sous la deuxième forme, on voit que la valeur absolue de la

surtension v est sensiblement indépendante du voltage et qu'elle dépend surtout du rapport de la puissance transportée à la longueur de la canalisation.

» On est donc conduit à penser que le coefficient de sécurité pourrait, aux très hautes tensions, être diminué pour les câbles, comme il l'est généralement pour les enroulements de transformateurs et les autres pièces de l'appareillage électrique.

» Ceci pourrait permettre, sans sortir des limites compatibles avec une bonne fabrication, d'aller avec des câbles à 3 conducteurs au delà de la tension de 30 000 volts et peut-être jusqu'à 35 000 ou 40 000 volts.

» Toutefois, on ne tarde pas à rencontrer dans cette voie une limite d'une autre espèce et qui, celle-là, paraît difficilement franchissable. Je veux parler de l'énorme importance que prennent aux hautes tensions les phénomènes de capacité.

» Pour en donner un exemple, prenons un câble à 3 conducteurs de 40 mm²; supposons qu'on adopte une tension de service de 400 volts par kilomètre de longueur de canalisation, et voyons l'importance que prendra le courant de capacité pour les tensions de 10 000, 20 000 et 40 000 volts correspondant à des distances de transport de 25, 50 et 100 km.

» La capacité kilométrique du câble ne variera pas beaucoup avec l'épaisseur de l'isolant et sa valeur étoilée peut *grasso modo* être admise de 0,100 microfarad par kilomètre.

» Dans ces conditions, pour les fréquences de 25 et de 50 périodes, le courant de charge aura les valeurs suivantes :

	Tensions.		
	10 000 volts.	20 000 volts.	40 000 volts.
Fréquence 25 périodes.....	3,3 ampères	9,5 ampères	37,5 ampères
Fréquence 50 périodes.....	4,7 ampères	19 ampères	75 ampères

» On voit que, pour la tension de 40 000 volts, le courant de charge pourra absorber toute la capacité de transport du câble et toute la puissance des générateurs qui l'alimenteront.

» Bien entendu, cette dernière considération ne s'applique avec toute sa rigueur qu'aux transports de force entièrement souterrains et elle aura beaucoup moins d'importance quand la partie souter-

rairie se réduira à une faible partie de l'ensemble de la canalisation. Dans ce dernier cas, les limites de voltage maximum pourront être beaucoup reculées par la substitution aux câbles à 3 conducteurs de câbles à un seul conducteur, dont l'emploi devient admissible s'il ne s'agit que de faibles longueurs.

» En terminant, je résumerai comme suit ce qui me paraît être l'état actuel de la question :

» Au point de vue de l'emploi des câbles souterrains, les voltages alternatifs actuellement en usage peuvent se diviser en trois catégories principales :

» 1° Les voltages inférieurs à 20 000 ou 22 000 volts, pour lesquels on peut avancer que l'état actuel de la fabrication des câbles souterrains aussi bien que les résultats acquis par l'expérience permettent d'admettre leur emploi en toute sécurité et en toute confiance, si les câbles sont bien fabriqués et posés avec les précautions désirables;

» 2° Les voltages compris entre 20 000 et 40 000 volts, pour lesquels l'emploi des câbles souterrains, tout en apparaissant comme possible à la rigueur, peut être considéré comme encore insuffisamment sanctionné par l'expérience et demeure entouré d'une incertitude d'autant plus grande, quant au résultat final, que le voltage est plus élevé;

» Les voltages supérieurs à 40 000 volts, pour lesquels les câbles souterrains apparaissent, pour le moment, comme inapplicables. »

M. le PRÉSIDENT remercie M. de Marchena de sa très belle Communication.

NOUVEAUX PYROMÈTRES THERMO-ÉLECTRIQUES INDUSTRIELS.

M. PILLIER. — « Les nouveaux groupes d'appareils pour la mesure des températures élevées que nous présentons ont été étudiés dans le but d'utiliser des galvanomètres et des couples thermo-électriques robustes, pouvant être mis entre les mains des ouvriers.

» De toutes les méthodes précises employées pour la méthode des températures, la plus simple est celle proposée par M. Le Chatelier; il suffit, en effet, de plonger une extrémité d'un couple thermo-électrique dans une enceinte à mesurer pour qu'un galvanomètre branché à l'autre extrémité donne directement des lectures en température.

» On a eu recours jusqu'ici à l'emploi de galvanomètres à suspension, instruments délicats et de transport difficile, leur emploi étant rendu nécessaire par la faiblesse de la force électromotrice développée par le couple aux plus hautes températures.

» Par exemple, il suffit de rappeler que le couple fer constantan, un de ceux dont le pouvoir thermo-électrique est le plus élevé, ne donne que 55 millivolts environ, pour une différence de température de 1000° entre ses extrémités.

» *Le galvanomètre.* — La solution de la Maison Chauvin et Arnoux consiste à employer les galvanomètres à pivots, de son type apériodique à cadre mobile, donnant la déviation totale pour une force électromotrice E , très faible à ses bornes, galvanomètre d'une résistance intérieure R suffisamment faible pour que la puissance $\frac{E^2}{R}$ dépensée dans le galvanomètre assure justement cette déviation totale.

» La sensibilité de cet appareil est due à l'emploi d'un champ magnétique très intense, dans lequel se déplace le cadre mobile, et l'apériodicité est due au déplacement dans ce même champ magné-

tique d'un amortisseur électromagnétique entourant le cadre mobile.

» L'aimant est muni d'un shunt magnétique, permettant un réglage particulier dont il sera parlé plus bas.

» Quant à la faible résistance du circuit galvanométrique, elle est obtenue grâce au mode de construction du cadre mobile : l'en-

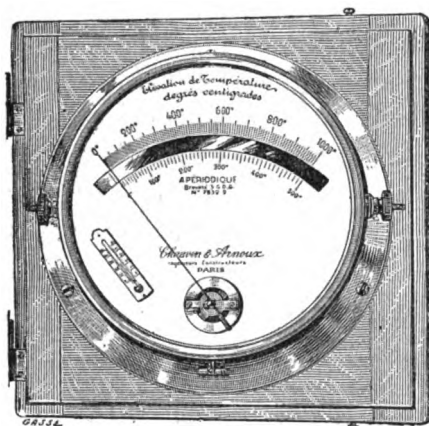


Fig. 1.

roulement de très faible résistance est maintenu entre 2 bagues de cuivre Elmore formant amortisseur, les spiraux sont en bronze de haute conductibilité.

» *La canne 1000°.* — La faible résistance du circuit galvanométrique conduit à donner au couple une résistance de même ordre.

» Cette circonstance est heureuse, car elle va permettre l'emploi d'un couple au fer pour les températures élevées : le fer, le palladium, le nickel et leurs alliages ont jusqu'ici été rejetés comme impropres à la mesure des températures élevées, parce que chauffés en certains de leurs points ils donnaient des courants parasites ; cependant le fer ne donne pas d'irrégularités sensibles au galvanomètre lorsqu'il est employé en masse dont l'homogénéité est suffisante et dont la résistance électrique est négligeable dans la résistance totale du circuit.

» Il est vrai que cette disposition fait perdre l'avantage de la peti-

tesse du corps thermométrique, mais ce qui serait un obstacle pour certains essais de laboratoire n'en est pas un dans la pratique, car on agit toujours sur des foyers vastes ou des masses considérables.

» La canne pyrométrique de 0° à 1000° se compose d'un tube de

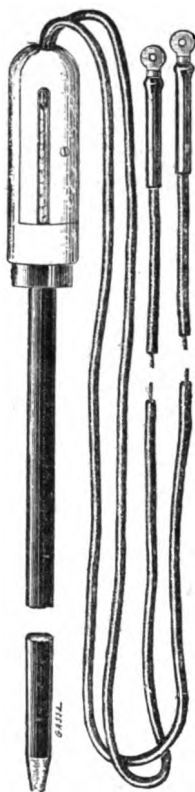


Fig. 2.

fer de 14 mm de diamètre extérieur, à parois épaisses, à l'intérieur duquel un fil d'alliage spécial de cuivre, nickel et manganèse que nous appellerons par la suite *alliage CA* est tendu et isolé à l'amiante. La poignée porte les connexions des extrémités du fer et du constantan constituant l'extrémité froide du couple.

» La soudure des couples thermo-électriques est un point particulièrement important, car la moindre variation de la valeur de résistance au contact peut amener des perturbations dans le fonction-

nement de l'appareil. MM. Chauvin et Arnoux sont parvenus cependant à obtenir une soudure parfaite du fer et du fil par la soudure électrique en atmosphère réductrice, sans employer aucune brasure.

» La coupe de l'extrémité du couple est une preuve de l'excellence de la jonction.

» L'emploi de cette canne est simple : l'extrémité du couple étant plongée dans l'enceinte dont on veut connaître la température et les deux connexions de l'extrémité froide reliées au galvanomètre par deux cordons souples, on lit, sur le galvanomètre gradué en élévation de température, l'indication de l'aiguille.

» L'appareil étant gradué en élévation de température, on ajoute la valeur de la température de la soudure froide, lue sur le thermomètre que porte la poignée du couple, pour avoir la température en valeur absolue.

» *Canne 1600°.* — La canne de fer alliage CA, dont l'emploi jusqu'aux températures voisines de 1000° est permis, grâce à la protection du fil d'alliage par le tube de fer, ne peut pas être employée pour les températures supérieures et, dans ces cas, l'emploi des couples au platine étudiés par M. Le Chatelier s'impose. Mais ici on se heurte à deux causes tendant à prohiber leur emploi avec le type de galvanomètre précédemment décrit.

» En premier lieu l'obligation d'employer des couples de forte section conduit à un prix exagéré.

» En second lieu, la force électromotrice maximum dont on dispose, même en employant le couple platine platine-iridié à 25 pour 100, est de 30 millivolts, ce qui conduit à l'emploi de couples d'autant moins résistants et partant de plus grosse section.

» Un type de canne jouissant des mêmes avantages que la précédente a été construit et établi par MM. Chauvin et Arnoux de façon à ne comporter qu'une faible longueur de fil de platine de gros diamètre, ce qui réunit l'avantage d'un prix peu élevé à celui d'une résistance considérable aux actions corrosives.

» Cette disposition consiste à mesurer la différence de température en deux fois.

» Le couple au platine est relié en série avec un couple de fer et alliage CA dont la soudure chaude est placée au même point que l'extrémité froide du couple au platine.

» Comme ce dernier couple donne une force électromotrice beau-



Fig. 3.

coup plus élevée que le couple au platine, on le shunte de façon à avoir la même différence de potentiel aux extrémités du shunt pour une même différence de température.

» Ce shuntage réduit la résistance totale et permet l'emploi de cannes de grande longueur.

» Il est aisé de voir qu'avec cette disposition la force électromotrice qui fait dévier le galvanomètre provient de deux sources :

» 1° Le couple au platine qui donne une force électromotrice

$$e = f(T - \theta);$$

» 2° Le couple fer constantan pour lequel on a

$$e' = f'(\theta - t),$$

T étant la température à mesurer,

θ la température commune à la soudure froide du couple au platine
et à la soudure chaude du couple fer constantan,

t la température extérieure.

» Il est possible d'obtenir un couple fer et alliage voisin du constantan qui, une fois shunté, donne une courbe exactement superposable à celle du couple au platine pour les températures comprises entre t et θ , de sorte que, finalement, on obtient le même résultat qu'avec un couple au platine ayant toute la longueur de la canne et qui donnerait une force électromotrice

$$E = e + e' = f(T - t).$$

» Il est intéressant de signaler, pour la rigueur de ce qui précède, que la valeur de la résistance du shunt du couple de compensation dépend uniquement de la résistance de ce couple et du rapport de leurs pouvoirs thermo-électriques qui sont des constantes, et reste indépendante des variations de résistance du circuit extérieur.

» Si E est la force électromotrice pour une élévation de température $T - t$ du couple au platine, R_1 la résistance du couple de compensation, R_2 celle du shunt, R_3 celle du circuit extérieur, l'intensité I dans ce dernier conducteur est

$$I = \frac{E}{\frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} + R_3} = \frac{E(R_1 + R_2)}{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_3 R_1}.$$

» Soit $E - e$ la force électromotrice pour une élévation de température $T - \theta$ du couple au platine, e est la force électromotrice pour une élévation de température $\theta - t$, et la force électromotrice du couple de compensation est ke pour cette même élévation, si k est le rapport des pouvoirs thermo-électriques des deux couples.

» En appelant α, β, γ les intensités dans chacun des conducteurs de résistance R_1, R_2, R_3 et en écrivant que $\gamma = I$, on aura la condi-

tion pour que l'ensemble des deux couples se comporte comme un couple unique au platine.

» Appliquant les lois de Kirchhoff à chacun des deux circuits, on a

$$\begin{aligned}\gamma &= \alpha + \beta, \\ R_1 \alpha - k e - R_2 \beta &= 0, \\ R_2 \beta + R_3 \gamma - E + e &= 0.\end{aligned}$$

Éliminant α et β entre ces trois équations

$$\gamma = \frac{(E - e)(R_1 + R_2) + R_2 k e}{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_3 R_1},$$

on a la condition

$$E(R_1 + R_2) = (E - e)(R_1 + R_2) + R_2 k e$$

ou

$$e[R_1 + R_2(1 - k)] = 0.$$

Si $e = 0$, la condition est évidente.

Si $e \neq 0$, la valeur de R_2 est

$$R_2 = \frac{R_1}{k - 1}.$$

» L'un des fils passe au travers d'un tube en porcelaine Marquardt, et l'ensemble des deux fils et de ce tube est recouvert par un deuxième tube beaucoup plus large, fermé par le bout et portant une embase à la partie inférieure. Cette embase est serrée par une pièce en fonte, par l'intermédiaire de rondelles d'amiante et d'un écrou en fer.

» Un tube de fer, fermé, qui vient se monter sur la pièce en fonte, du même côté que les tubes en porcelaine, permet de protéger le couple et la porcelaine pour le transport et les mesures aux températures moyennes.

» De l'autre côté de la pièce en fonte est vissé un tube de fer de 80 mm de long qui aboutit à la poignée. A l'intérieur de ce tube passent deux fils de cuivre, guipés d'amiante, brasés au couple au platine et un fil d'alliage CA brasé au tube de fer à la hauteur de l'extrémité froide du couple au platine.

» Ces trois fils viennent se relier aux trois barrettes en cuivre fixées dans la poignée. Le tube en fer est vissé sur la poignée par l'intermédiaire d'une pièce en cuivre reliée, d'une part, directement à un des fils provenant du couple au platine et, de l'autre,

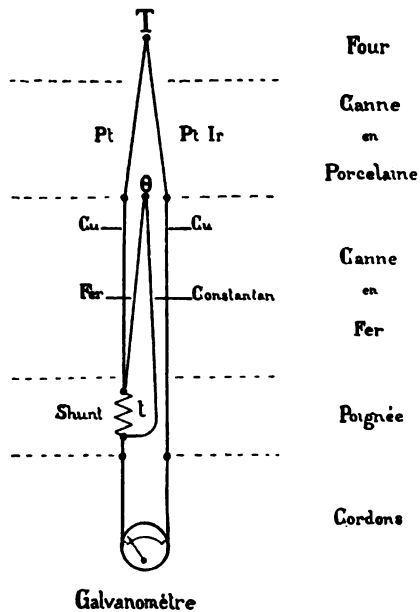


Fig. 4.

au fil d'alliage CA par l'intermédiaire d'une résistance servant de shunt.

» La poignée porte un thermomètre qui donne la température de la soudure froide du couple de compensation.

» Cette température doit être ajoutée à celle lue sur le cadran pour avoir la température exacte à l'extrémité.

» Enfin de la poignée partent deux fils qui se rendent au galvanomètre gradué en degrés centigrades.

» Le manchon en fer, qui se visse à l'extrémité supérieure, doit être conservé toutes les fois que la température n'est pas trop élevée. Il protège la porcelaine contre les chocs et les variations brusques de température.

» Lorsque la température est trop élevée, on enlève le manchon

en fer. Il faut avoir, alors, la précaution de chauffer lentement la porcelaine avant de l'introduire dans l'enceinte à haute température.

» Cette canne peut servir à la mesure des températures de coulées, pour lesquelles il est nécessaire d'avoir une température bien déterminée. Le creuset étant sorti du four, on y plonge la canne et on laisse la température descendre jusqu'à la valeur jugée nécessaire pour la coulée.

» Elle sert aussi, avantageusement, dans tous les cas où il suffit de plonger une faible longueur de canne dans l'enceinte à haute température, mais il est utile, dans ce cas, d'obturer complètement l'orifice pratiqué dans la paroi, pour l'introduction du couple, de façon à éviter l'appel d'air froid le long de la canne.

» Une solution assez simple, lorsqu'on fait cette expérience sur le ciel du four, est d'introduire un creuset dans un orifice pratiqué dans la paroi. La canne, placée alors dans ce creuset, est entourée de magnésie.

» *Corrections.* — 1° L'emploi de pyromètres ainsi conçus se heurtait à un assez gros inconvénient dans la pratique.

» Une partie importante de la résistance est représentée par le cadre galvanométrique, les spiraux et les connexions en fil de cuivre. Ces résistances variant avec la température entraînent pour la résistance totale du circuit une variation voisine de $\frac{1}{400}$ de sa valeur pour une élévation de 1° de la température ambiante. Les galvanomètres étant étalonnés à 15° et pouvant être appelés à fonctionner dans des conditions de température extrêmement variables, il est nécessaire d'apporter une correction aux lectures.

» Cette correction est obtenue immédiatement par l'emploi d'un shunt magnétique réglable, ci-dessous décrit.

» La déviation D du galvanomètre est proportionnelle au produit des flux de l'aimant F et du cadre mobile f ,

$$D = kFf.$$

» Or, f est proportionnel à la force électromotrice e à mesurer

et inversement proportionnel à la résistance du circuit

$$f = k' \frac{e}{r_{15} [1 + \alpha(t - 15)]}$$

» Si r_{15} est la résistance à 15° et α le coefficient de température du circuit et t la valeur de la température ambiante,

$$D = kk' \frac{e}{r_{15} [1 + \alpha(t - 15)]} F.$$

» F ne variant pas dans les limites de température, on voit que, pour avoir une même déviation pour une même force électromotrice e , il suffit de faire varier le flux F proportionnellement à la variation de résistance du circuit.

» On fait varier la valeur du flux magnétique à travers le cadre par l'emploi d'une plaquette de fer doux qu'on approche plus ou moins des pôles de l'aimant.

» Son mouvement est commandé par une vis à tambour divisé en degrés centigrades. Il suffit de lire la température sur le thermomètre placé sur le cadran et d'amener le tambour vis-à-vis du repère correspondant pour obtenir une correction parfaite.

» 2° Enfin, reste la variation de résistance du couple avec la température. Suivant qu'une longueur plus ou moins grande de celui-ci est plongée dans le foyer, les indications du galvanomètre tendent à varier du fait de la variation de la résistance totale.

» En ce qui concerne la canne à 1000° il suffit de rappeler que la résistance du fer est pour environ $\frac{1}{10000}$ de la résistance totale, et que l'alliage CA a un coefficient de température sensiblement nul.

» Quant au double couple pour 1600° , celui de compensation ne varie pas avec la température. Reste le couple au platine dont la résistance varie.

» Si la totalité du couple est à la même température, la graduation tient compte de sa variation de résistance, mais la longueur du couple plongée dans l'enceinte peut varier et la résistance dépend alors de la température de ses différents points.

» On suppose, en graduant l'appareil, que l'ensemble du couple au platine est à une température moitié de ses extrémités.

» La résistance du couple représentant environ $\frac{1}{20}$ de la résistance totale, l'erreur ne porte que sur cette fraction, et l'appareil ainsi gradué ne donne de ce fait qu'une erreur maximum de l'ordre de 1 pour 100 dans les cas les plus défavorables.

» *Modèle enregistreur.* — Pour terminer, nous devons dire que le modèle rendu enregistreur a été réalisé en employant un enroulement en lames sur le cadre galvanométrique.

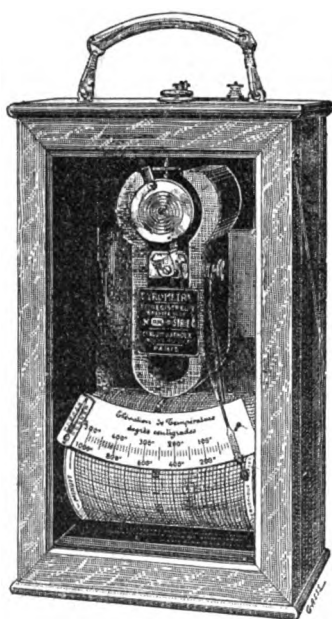


Fig. 5.

» L'enregistreur est du type bien connu de tableau de distribution, modèle apériodique à cadre mobile muni d'une plume molette traçant le diagramme par roulement.

» Le couple se présente sous le même aspect extérieur, seul le fil intérieur a été augmenté de section.

» *Modèle avertisseur.* — Enfin, la puissance du couple antagoniste

est suffisante, même dans les galvanomètres à cadran, pour assurer le fonctionnement d'un signal d'alarme par un simple contact donné par l'aiguille indicatrice sans recourir à l'emploi de relais. »

M. le PRÉSIDENT remercie M. Pillier.

LA LAMPE COOPER HEWITT A COURANT ALTERNATIF MONOPHASÉ.

M. DE RECKLINGHAUSEN. — « Ainsi que vous le savez, il y a un an environ, M. Leblanc a présenté à notre Société la lampe à courant continu et le redresseur monophasé imaginés par M. Cooper Hewitt.

» La nouvelle lampe que j'ai l'honneur de vous présenter ce soir représente le dernier appareil mis au point par les collaborateurs de M. Cooper Hewitt.

» Cette lampe se compose : 1° d'un support avec ses accessoires, c'est-à-dire un transformateur, une bobine de self-induction et un rhéostat de réglage; 2° de la lampe elle-même qui est munie d'une électrode négative, de deux électrodes positives et d'une électrode positive auxiliaire.

» Le rôle du transformateur a déjà été décrit en même temps que le convertisseur monophasé. Il permet d'obtenir une tension appropriée aux bornes de la lampe et d'utiliser les deux demi-ondes alternatives. L'emploi de ce transformateur permet d'alimenter les lampes avec le voltage que l'on désire et nous pensons qu'on pourra obtenir dans l'avenir des lampes branchées sur un circuit à 1000 volts et même davantage.

» La bobine de self-induction, qui est en circuit avec la lampe, sert à prévenir la rupture du courant à travers celle-ci en franchissant les points inférieurs de la courbe du courant ondulatoire qui sort du transformateur.

» Le rhéostat présente une disposition nouvelle de l'appareillage. On a adopté pour le rhéostat le principe imaginé par M. Potter pour l'usage des lampes Nernst. Ce rhéostat est constitué par un fil de fer fin immergé dans une atmosphère d'hydrogène à l'intérieur d'une ampoule fermée. Ainsi que vous le savez, le fer ainsi employé a un coefficient de température extrêmement élevé, c'est-à-dire que sa résistance s'accroît énormément lorsque la température s'élève (*fig. 1*). Avec un tel rhéostat, le courant qui passe à travers la lampe se régularise donc automatiquement.

» La mise en marche de la lampe est identique à celle employée pour la marche des lampes à courant continu. Le balancement de la lampe produit, à l'intérieur du tube, un court-circuit entre le pôle positif et le mercure du pôle négatif. Pour que la lampe se mette en marche cette interruption doit avoir lieu au moment où l'électrode positive en question est réellement sous l'impulsion d'un

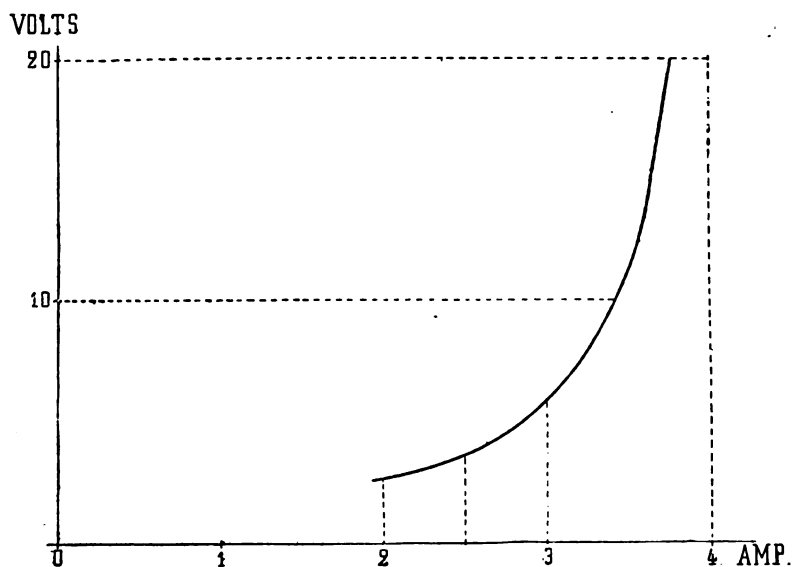


Fig. 1.

voltage positif; il faut donc en quelque sorte mettre la lampe en phase avec le courant qui l'alimente; il y a donc quelquefois lieu de basculer à plusieurs reprises avant que la lampe s'amorce.

» Pour des raisons de construction, il n'est pas possible de laisser produire ce court-circuit entre l'électrode négative et une des deux électrodes positives de marche; donc nous avons jugé préférable d'employer, comme vous le voyez (*fig. 2*), une électrode auxiliaire qui laisse passer le courant au moment de l'allumage. Elle est en connexion directe avec une des électrodes positives de marche, mais, comme elle est associée à un rhéostat de grande résistance, le courant normal de la lampe ne la traverse plus pendant le fonctionnement.

» Ainsi que vous le savez, nous avons deux types de lampes à

courant continu; le type K dans lequel la tension entre les bornes proprement dites est de 75 volts et le type H dans lequel cette tension est de 40 volts. En partant de ces chiffres, nous avons adopté, pour le courant alternatif, un modèle dans lequel la longueur du tube est de 70 cm environ. Le voltage de cette lampe est d'environ 50 volts en courant continu; cette tension est naturellement indépendante du voltage du réseau puisqu'on est maître de le modifier à sa volonté de façon à avoir aux bornes de la lampe le voltage qu'on désire. Le

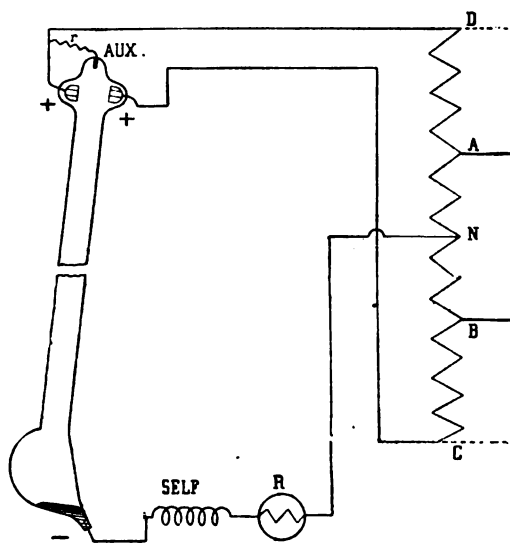


Fig. 2.

croquis ci-joint (*fig. 2*) montre les connexions de la lampe avec les appareils accessoires.

» D'après les essais de notre laboratoire, on a les voltages suivants aux différents points de l'appareil, dans les conditions normales :

Réseau.....	110 volts
Aux bornes du tube	50 —
Aux bornes du rhéostat.....	12 —
Entre les électrodes positives	172 —
Courant.....	3,5 ampères
Watts apparents.....	330
Watts réels	272

» Nous avons donc un facteur de puissance de 80 à 85 pour 100.

» La lampe elle-même est indépendante de la fréquence, mais les accessoires sont établis suivant la fréquence du réseau. »

M. le PRÉSIDENT remercie M. de Recklinghausen.

Le dépouillement du vote pour le renouvellement partiel du Comité d'administration et l'élection de la Commission des comptes étant achevé, M. le PRÉSIDENT proclame les résultats suivants :

Suffrages exprimés 260
Majorité 131

PRÉSIDENT :

Pour l'exercice 1907-1908.

MM.		Nombre de voix obtenues
BECQUEREL (H.), Membre de l'Institut.....		258

VICE-PRÉSIDENTS :

POINCARÉ (L.), Inspecteur général de l'Instruction publique.....	259
REY (J.), Ingénieur civil des Mines.....	258

SECRÉTAIRES :

JOUAUST (R.), Chef de travaux au Laboratoire central d'Electricité.	256
JUMEAU (L.), Ingénieur électricien.....	258

TRÉSORIER :

VIOLET (L.), Ingénieur.....	260
-----------------------------	-----

MEMBRES :

Pour 3 ans.

ALIAMET (M.), Inspecteur-chef du Laboratoire électrotechnique au chemin de fer du Nord.....	260
ARNOUX (R.), Ingénieur constructeur.....	260
BAINVILLE (A.), Ingénieur conseil.....	257
BLONDIN (J.), Professeur au Collège Rollin.....	259

<i>Pour 3 ans (suite).</i>		Nombre de voix obtenues
MM.		
BOUCHEROT (P.), Ingénieur conseil.....	260	
BROCQ, Ingénieur des Arts et Manufactures.,.....	258	
CHEVRIER (L.), Directeur de l' <i>Usine centrale du Secteur de la Rive gauche</i>	259	
GIROUSSE, Ingénieur des Télégraphes.....	256	
GUÉRY (F.), Ingénieur électricien.....	257	
GUILBERT (C), Ingénieur électricien.....	256	
LANGVIN (P.), Professeur suppléant au Collège de France.....	260	
LORAIN, Ingénieur des Télégraphes.....	257	
MAUDUIT (A.), Ingénieur électricien.....	257	
MAZEN (A.), Ingénieur des Services électriques des <i>Chemins de fer de l'Ouest</i>	255	
MONGIN (E.), Ingénieur.....	257	
VILLARD (P.), Professeur suppléant au Conservatoire national des Arts et Métiers.....	260	

Pour 2 ans.

CHAUMAT (H.), Sous-Directeur de l'École supérieure d'Électricité.	254
GRATZMULLER, Ingénieur électricien.....	253
MEYER (M.), Directeur de la <i>Compagnie générale de travaux d'éclairage et de force</i>	253

Pour 1 an.

MEYER (F.), Directeur de la <i>Compagnie continentale Edison</i>	251
--	-----

COMMISSION DES COMPTES :

BOISTEL (E.), Ingénieur conseil.....	257
PELLISSIER (G.).....	260
TOUANNE (de la), Ingénieur des Télégraphes.....	259

ALLOCUTION DU PRÉSIDENT SORTANT.

M. BOUTY. — « Messieurs, arrivé au terme d'un mandat dont votre courtoisie m'a rendu l'accomplissement aussi agréable que facile, je tiens à vous remercier encore une fois du très grand honneur que vous m'avez fait. La part que j'ai dû prendre à vos travaux aurait

suffi à établir ma conviction, si elle n'eût été déjà faite, au sujet de l'alliance nécessaire des études théoriques et pratiques. La matière traitée est la même. Les problèmes soulevés par les applications sont parfois les plus intéressants au point de vue théorique, et la Science pure profite de tous les progrès réalisés dans les industries auxquelles elle a donné naissance.

» J'en appellerai au témoignage de l'électricien éminent, du savant très distingué dont vous connaissez tous les si remarquables inventions et que vos suffrages ont appelé à la présidence pour l'année 1906-1907. M. Maurice Leblanc nous a donné un bel exemple en faisant d'abord poursuivre à tous ses enfants des études scientifiques désintéressées. Ils ont été nos élèves à la Faculté des Sciences, où il ne leur a pas été difficile de se faire remarquer par leur vive intelligence et leur application. Quelle preuve plus éclatante pouvait nous donner M. Leblanc du rôle qu'il attribue à la Science pure dans l'éducation des hommes qui seront un jour appelés à en faire fructifier les applications?

» Vous avez tous manifesté que tel est aussi votre sentiment par l'attention si vive que vous avez prêtée aux conférences de MM. Langevin et Villard sur les découvertes et les hypothèses les plus récentes relatives à la conductivité des gaz et au mécanisme de la décharge disruptive,

» Ces Communications, en apparence si éloignées de l'industrie électrique, n'ont d'ailleurs ralenti en rien le cours ordinaire de vos travaux, au sein des Commissions qui préparent et dirigent l'emploi de vos séances mensuelles. Je me bornerai à signaler l'activité développée dans l'étude du questionnaire qui vous a été soumis par le Ministère de la Marine. Ce questionnaire, à propos de problèmes très particuliers, soulève des questions d'ordre scientifique et général dont la portée dépasse de beaucoup les applications spéciales qui lui ont donné naissance. Des expériences entreprises à ce sujet au Laboratoire central d'Electricité fourniront des résultats dont tous les électriciens et même les savants pourront tirer parti.

» Il ne m'appartient de refaire aucun des Rapports si nourris et si lumineux qui vous ont été soumis. Vous me permettrez donc de ne pas passer en revue les Communications, si intéressantes, qui

ont sollicité votre attention. Mais je ne puis manquer au devoir de remercier en votre nom notre Secrétaire général, M. Armagnat, dont l'activité toujours en éveil a pourvu à ce que chacune de vos séances eût son contingent d'intérêt scientifique et industriel. Malgré des occupations très absorbantes, il a trouvé le temps nécessaire pour ne jamais laisser en souffrance aucune des nombreuses questions qui se sont présentées. Je le prie d'agréer le témoignage particulier de ma reconnaissance pour sa collaboration qui m'a été à la fois très agréable et très précieuse.

» Le Laboratoire et l'École d'Électricité, entre les mains de mon savant collègue M. Janet et de son personnel si dévoué, poursuivent leur développement normal. On me permettra de signaler la tendance de plus en plus accusée de nos jeunes licenciés à se porter vers l'École d'Électricité. Je suis garant de leur zèle. Je puis aussi affirmer que l'Université, désireuse de multiplier ses services et d'étendre ses relations avec le monde industriel, prendra les mesures nécessaires pour que nos jeunes gens trouvent chez elle toutes les ressources qui peuvent leur être utiles. Ils entreront à l'École d'Électricité avec un bagage de plus en plus complet et deviendront par la suite des ingénieurs accomplis.

» Le Laboratoire central d'Électricité fait apprécier au loin sa légitime renommée. Les essais délicats qu'il n'exécutait jadis que sur place se complètent par des essais faits en province où il se crée une clientèle de plus en plus importante.

» Ces beaux résultats sont dus à une direction véritablement scientifique et à une administration prudente qui inspirent toute confiance au public. Il serait à désirer que des ressources nouvelles vinssent aider, dans son essor, le Laboratoire dont l'outillage doit incessamment se perfectionner, si nous voulons le maintenir au niveau des progrès si rapides de la Science et de l'Industrie.

» Au point de vue financier, la Société est dans un état qu'on peut appeler florissant. Nous voyons des prodiges se réaliser entre les mains de notre trésorier, M. Violet. C'est ainsi que le dernier emprunt, nécessité par vos conventions avec la Ville pour les agrandissements du Laboratoire et de l'École, se trouve, à l'heure actuelle, définitivement soldé, bien antérieurement aux prévisions les plus optimistes. Dégagées de la lourde charge d'un amortisse-

ment, nos finances vont nous permettre de constituer une réserve. La Société tout entière tiendra à manifester à son trésorier tout le prix qu'elle attache à sa collaboration et sa reconnaissance pour une gestion aussi habile.

» En résumé, je suis heureux de constater avec vous que la Société des Électriciens est en pleine prospérité. Mais n'oubliez pas que l'élément le plus essentiel de cette prospérité réside dans le dévouement de chacun des membres à l'œuvre commune et dans l'augmentation continue du nombre de ces membres. Celui-ci a semblé subir comme un temps d'arrêt. Ce serait un signe inquiétant, si vous ne cherchiez, chacun de votre côté, à aider à une propagande que légitiment tous les services rendus par notre Société. Faites-la connaître autour de vous. Ce sera la faire aimer et la faire apprécier par tous ceux qui s'intéressent aux progrès de la Science électrique, je dirais presque aux progrès de la civilisation.

» Il ne me reste qu'à vous renouveler le témoignage de ma reconnaissance et à transmettre à mon successeur les pouvoirs que vous m'aviez confiés. Je suis particulièrement heureux d'inviter M. Maurice Leblanc à me remplacer au fauteuil. » (*Applaudissements.*)

ALLOCUTION DU PRÉSIDENT ENTRANT.

M. LEBLANC. — « Vous m'avez fait un grand honneur en m'appelant à votre présidence, et je suis réellement confus, lorsque je compare ma personnalité à celle de mes éminents prédécesseur et successeur.

» Vous avez, sans doute, voulu relever la profession d'inventeur, qui est généralement si décriée, et je vous en remercie.

» Je me propose de vous exposer, au début de la prochaine séance, l'usage que je compte faire des pouvoirs que vous avez bien voulu me confier, et de vous demander tout votre concours.

» Aujourd'hui, étant donnée l'heure avancée, j'inaugurerai mes nouvelles fonctions en vous rendant votre liberté, comme don de joyeux avènement. »

La séance est levée à 10^h 30^m du soir.

BIBLIOGRAPHIE.

Annuaire publié par le Bureau des Longitudes pour 1906.

1 vol. in-16. Paris, Gauthier-Villars.

L'éclipse solaire du 30 août 1905 a déterminé, dans tous les esprits cultivés ou simplement curieux, un courant de préoccupations momentanées, au moins, mais très vives, car il est peu de personnes qui restent indifférentes en présence de tels phénomènes astronomiques.

On lira donc, soit avec plaisir, soit avec le désir de se placer dans de meilleures conditions d'appréciation, les *Instructions sommaires sur les observations que l'on peut faire pendant les éclipses*, dues à M. G. Bigourdan, ainsi que deux autres Notices sur l'éclipse totale de 1905, que publie l'*Annuaire* de 1906.

Manuel de la fabrication des accumulateurs, par F. GRÜNWALD,

traduction française de M. P. GRÉGOIRE. 1 vol. in-12. Paris, H. Desforges, 1906.

Une grande abondance de détails, exposés méthodiquement et avec concision, caractérise cet Ouvrage qui, après les notions élémentaires sur la production et les effets du courant, traite des matières premières utilisées dans la fabrication des accumulateurs, de leur emploi et du fonctionnement des installations, etc. Ces divers Chapitres font ressortir les derniers perfectionnements apportés dans l'industrie des accumulateurs, progrès qui consistent surtout dans l'augmentation de la surface active et la diminution du temps nécessaire à la formation; étant donné que, malgré la grande variété des supports imaginés, on constate dans la plupart une certaine uniformité de structure, laquelle tend à faire croire qu'une limite pratique ne serait pas loin d'être atteinte par cette fabrication.

Dans l'Appendice qui termine l'Ouvrage de M. Grünwald, le traducteur a reproduit également deux documents qui montrent avec quelle sévérité le contrôle de cette industrie est exercé en Allemagne : un Règlement concernant l'installation et le fonctionnement des établissements destinés à la fabrication des accumulateurs au plomb ou aux composés du plomb et un Extrait des prescriptions établies par l'Association des Ingénieurs-Électriciens allemands visant la sécurité du personnel dans les locaux à accumulateurs.

La législation des accidents du travail, par L. GRILLET.

1 vol. in-8 de l'*Encyclopédie des Aide-Mémoire*. Paris, Gauthier-Villars et Masson et C^{ie}.

Le monde industriel et particulièrement les chefs d'entreprise, directeurs et ingénieurs, accueilleront avec un juste empressement ce livre dans lequel M. Grillet

expose, avec une précision et une clarté remarquables, la législation des accidents du travail, ainsi que l'état actuel de la jurisprudence en cette matière.

Les obligations qu'impose la loi du 9 avril 1898 et que sont venues aggraver celles du 22 mars 1902 et du 31 mars 1905, à tous ceux qui peuvent être rendus responsables de ces accidents, sont bien connues sans doute, puisque nul n'est censé ignorer la loi; mais ne connaissent suffisamment bien les lois précitées, est-il permis de dire, que les patrons en ayant encouru les effets et qui ont eu à satisfaire aux conséquences d'accidents variés comportant indemnités générales ou spéciales.

Dans une très large mesure, l'Ouvrage de M. Grillet est de nature à suppléer ce défaut de pratique expérimentale, en ce sens qu'il est écrit par un spécialiste au savoir très sûr et suivant une méthode excellente qui lui a permis de faire en 200 pages un exposé critique des bases de la loi, une étude rationnelle de la législation et l'analyse de plus de 1200 décisions des tribunaux civils, des cours d'appel et de la cour de cassation. En outre, les questions suivantes y sont minutieusement traitées : assujettissement des ateliers, maladies professionnelles et constitutionnelles, cas de force majeure, salaires de base, tiers responsable, etc.; enfin, un barème des indemnités accordées par les tribunaux en cas d'incapacité permanente partielle.

Du reste, l'auteur fait judicieusement remarquer que la loi de 1898 n'a aucun fondement dans le droit ancien et que, par conséquent, il serait contraire à l'esprit de la nouvelle législation de vouloir l'interpréter avec les règles usuelles de notre droit civil.

Sur les électrons, par Sir OLIVER LODGE.

1 volume in-12 des *Actualités scientifiques*. Paris, Gauthier-Villars, 1906.

MM. Nuges et Périquier, désireux d'apporter une contribution à la diffusion des idées nouvelles relatives aux électrons, ont arrêté leur choix sur l'exposé fait, il y a quelques années, par Sir Oliver Lodge, devant l'Institution of Electrical Engineers. La traduction qu'ils offrent aux lecteurs français a la bonne fortune d'être présentée par M. Langevin, un maître en la matière, dont la Préface résume la question de façon lumineuse et facilite ainsi le développement des matières contenues dans le Volume.

La manière de Sir Oliver Lodge est celle des grands vulgarisateurs anglais, si attrayante et matérialisant en quelque sorte les sujets les plus abstraits.

Il convient de féliciter les traducteurs de nous avoir permis d'apprécier ces belles pages où l'on voit la doctrine des électrons préciser les idées essentielles sur la nature de l'électricité et sur la constitution de la matière.

La théorie moderne des phénomènes physiques. — Radioactivité, ions, électrons,
par A. RIGHI, professeur à l'Université de Bologne. Traduction libre sur la seconde édition italienne par E. NÉCULCÉA. Paris, Journal *L'Éclairage électrique*, éditeur, 1906.

Dans cette Brochure de 125 pages, le célèbre professeur italien cherche à mettre à la portée de tous les théories modernes des divers phénomènes physiques tels que la radioactivité et les conceptions relatives aux ions et aux électrons.

Il montre que l'électron est une charge électrique qui se déplace sans être liée à

une masse matérielle. La conséquence immédiate qui en résulte est que l'énergie peut exister *en dehors de toute matière*, puisqu'un électron en mouvement représente de l'énergie et que ce mouvement a lieu sans entraîner de masse pondérable. Cette conséquence semble extraordinaire au premier abord, mais on l'admet ensuite aisément si l'on réfléchit qu'une onde lumineuse se propageant dans le vide contient une quantité d'énergie, laquelle, bien que fort petite, est libre de toute masse matérielle.

M. Righi indique que l'on espère arriver à une théorie purement électromagnétique de la matière, bien que l'on soit arrêté par certains phénomènes encore inexpliqués dans cette théorie, l'attraction newtonienne par exemple. D'après l'auteur, la Mécanique rationnelle ne posséderait pas une généralité suffisante pour rendre compte de *toutes* les manifestations de l'énergie.

La Préface de M. Lippmann constitue, à elle seule, un résumé clair et précis des théories actuelles; elle ajoute encore à l'intérêt que présente pour nous l'excellente traduction de M. Néculcéa.

Cours de Mécanique élémentaire à l'usage des Écoles industrielles, par Pn. MEULAN, 2^e édition, revue par C. GERDAY, 1 volume in-8. Paris, Ch. Béranger, 1906.

Cet Ouvrage s'adresse aux jeunes praticiens dont les connaissances mathématiques sont limitées.

Il traite, sur cette base, la cinématique, la statique, la résistance aux mouvements, la dynamique, la résistance des matériaux, les générateurs de vapeur, machines à vapeur, moteurs à gaz et à pétrole, ainsi que l'hydraulique.

Il s'agit donc d'un Cours de Mécanique générale et appliquée exposé suivant un excellent programme et dans un style très simple. De nombreux exemples numériques accompagnent les démonstrations théoriques et facilitent grandement les applications.

Il est à souhaiter qu'une future édition d'un Ouvrage ayant un but si pratique soit accompagnée d'une sévère revision des définitions pour que celles-ci, devenant correctes au point de vue physique, ne risquent pas d'induire en erreur les praticiens ou d'en fausser les idées; à ce point de vue il y aurait une grosse transformation à opérer.

Les procédés de commande à distance au moyen de l'électricité, par R. FRILLEY, Capitaine d'artillerie. 1 vol. de la collection des *Actualités scientifiques*. Paris, Gauthier-Villars, éditeur, 1906.

Les appareils électriques de commande à distance occupent une place très considérable dans l'industrie et se substituent de plus en plus aux dispositifs à vapeur, hydrauliques ou à air comprimé. Dans la marine, en particulier, les commandes à distance sont très employées pour la manœuvre du gouvernail, des projecteurs, des tourelles, voire même pour le pointage des canons.

La souplesse de l'électricité et la facilité qu'elle donne de réaliser des mécanismes servo-moteurs impérativement contrôlés, sont la véritable cause de la substitution

presque générale de cet agent aux fluides utilisés autrefois. L'Ouvrage de M. Frilley est surtout un travail pratique, consacré à l'exposé des divers problèmes à résoudre au moyen de la commande à distance et à la description très détaillée des principaux appareils servo-moteurs électriques en service. Ces mécanismes sont divisés par l'auteur en appareils à commande directe, à relais, à champ tournant; en dispositions basées sur l'emploi du pont de Wheatstone, de l'étincelle d'induction et des ondes hertziennes.

Parmi les applications auxquelles a donné lieu l'étincelle d'induction, il est intéressant de citer la boussole enregistreuse et celle qui permet de maintenir automatiquement la direction d'un navire. Les ondes hertziennes donnent la faculté d'agir sur le gouvernail des torpilles automotrices que l'on dirige ainsi à volonté de très loin.

En résumé, la lecture de cet Ouvrage ne peut être que très suggestive pour ceux que les nouvelles applications de l'électricité intéressent.

Exposition universelle internationale de Saint-Louis 1904, Section française, rapport du groupe 74, par H. DE GRIÈGES (rapporteur). 1 vol. format 19 × 29 édité par le Comité français des Expositions à l'étranger.

Ce Volume, édité sous les auspices du Ministère du Commerce et de l'Industrie, est entièrement consacré à l'étude du matériel des chemins de fer et des tramways.

On y trouvera des Tableaux établissant des comparaisons entre les différentes parties des locomotives américaines et européennes, des descriptions de voitures modernes à boggies, de wagons spéciaux, soit à grande capacité (50 tonnes), soit pour le transport des matières destinées à l'alimentation (wagons à glace et à réfrigérants). Les descriptions relatives aux divers systèmes de voies, de signaux et de manœuvres électriques d'aiguilles, occupent nécessairement une certaine place dans le présent Rapport qui est fort bien documenté.

L'auteur s'occupe ensuite des divers systèmes de traction électrique, après avoir dit quelques mots des moyens de transport dans l'Exposition même. Il décrit les premières tentatives de traction par courant alternatif simple et donne de nombreux détails sur quelques chemins de fer électriques interurbains des États-Unis.

De nombreuses et belles photogravures donnent des vues d'ensemble des machines et appareils exposés. Elles sont accompagnées de quelques dessins cotés réunis sous forme de planches hors texte.

Parmi ces dessins, il convient de citer l'ensemble de la plate-forme d'essais des locomotives construites par la Compagnie de chemins de fer de Pennsylvania.

L'impression qu'on retire de la lecture du présent Rapport est que les locomotives françaises ne le cèdent en rien à leurs sœurs d'Amérique, tant au point de vue de la puissance qu'à celui de l'aspect.

Les télégraphes en Europe, leur état actuel en 1905, par E. GUARINI, 1 brochure in-8° de 68 pages et 22 figures. Paris, V^e Dunod, éditeur, 1905.

Sous ce titre, l'auteur, chargé de présenter au Gouvernement péruvien une étude

sur l'état de la question télégraphique, passe en revue successivement la construction des lignes et l'appareillage des bureaux télégraphiques en faisant ressortir les particularités propres aux divers pays.

Dans cette petite brochure on a consacré également quelques pages à la question de télégraphie et de téléphonie simultanées : la Belgique paraît être le seul État qui fasse usage de ce mode d'exploitation.



LISTE DES OUVRAGES

OFFERTS A LA SOCIÉTÉ INTERNATIONALE DES ÉLECTRICIENS.

(Suite.)

La Bibliothèque est ouverte aux Membres de la Société, tous les jours
de 2 heures à 5 heures, excepté les dimanches et jours de fêtes,
12, rue de Staël.

France.

Derniers progrès du telférage électrique, par Émile GUARINI. Paris, en vente chez M^{me} veuve Dunod, 1906; une brochure in-8°. (*Don de l'éditeur.*)

Manuel d'Électricité théorique et pratique, par H. BOUASSE et L. BRIZARD. Paris, Ch. Delagrave [s. d.], 1906; un vol. in-12 broché. (*Don de l'éditeur.*)

Primeiros principios de electricidade industrial, por PAULO JANET. Tradução brasileira por J. JORGE DA FONSECA. Paris, Gauthier-Villars, 1904; un vol. in-8° broché. (*Don de l'éditeur.*)

Primeros principios de electricidad industrial, por PAUL JANET. Traducida del francés por BALBINO VASQUEZ. Paris, Gauthier-Villars, 1904; un vol. in-8° broché. (*Don de l'éditeur.*)

BULLETIN
DE LA
SOCIÉTÉ INTERNATIONALE
DES
ÉLECTRICIENS

SOMMAIRE

Admission de membres titulaires, p. 210. — Dons à l'École et au Laboratoire, p. 210. — Allocution de M. le Président (M. Leblanc), p. 211. — Mesures des pertes dans les tôles par la méthode du wattmètre (M. Jonaust), p. 219. — Discussion de la communication de M. de Marchena sur l'emploi des câbles à haute tension (MM. Brylinski, Grosselir et Boucherot), p. 241.

COMPTE RENDU

DE LA

RÉUNION ORDINAIRE MENSUELLE

du mercredi 2 mai 1906 ⁽¹⁾.

PRÉSIDENCE DE M. MAURICE LEBLANC.

La séance est ouverte à 8 h. 40 du soir :

Le procès-verbal de l'assemblée générale annuelle et de la réunion mensuelle du 4 avril est adopté.

⁽¹⁾ La Société n'est pas solidaire des opinions émises par ses membres dans les discussions, ni responsable des Notes ou Mémoires publiés dans le *Bulletin*.

Il est donné connaissance des ouvrages offerts pour la Bibliothèque et des demandes d'admission suivantes :

MM.

DREYFUS, Directeur de la *Société Lilloise d'Électricité*, 87, rue de la Barre, à Lille (Nord). — Présenté par MM. Labour et Robard.

JIJIE (Adam), Lieutenant de la Marine Militaire Roumaine, Élève à l'institut Électro-technique Montefiore, 33, rue de la Paix, à Liège (Belgique). — Présenté par MM. Iliovici et Roy.

TOBIANSKY D'ALTOFF (George-Louis-Marie-Léopold **DE**), Ingénieur des Mines, Ingénieur Électricien, Ingénieur de la *Société Anonyme Westinghouse*, 14, avenue Faidherbe, à Bécon-les-Bruyères, (Seine). — Présenté par MM. Lavour et Nelson-Uhry.

Ces candidats sont élus membres titulaires de la Société Internationale des Électriciens.

M. le PRÉSIDENT fait part du décès de M. CRAPON et prononce les paroles suivantes :

« Messieurs,

» Nous avons tous été douloureusement émus par la triste fin de Pierre Curie, le plus illustre de nos collègues et dont la sublime découverte du radium perpétuera à jamais le souvenir. Au nom de la Société internationale des électriciens, j'adresse nos sincères et respectueux compliments de condoléance à sa dévouée compagne et assidue collaboratrice. Lorsque le temps aura fait son œuvre, nous sommes certains qu'elle reprendra les travaux brutalement interrompus par la mort et que, confidente des idées de son mari, elle saura les développer et illustrer encore le nom de Curie. »

Des remerciements sont adressés aux auteurs des dons suivants :

I. *Société.*

Revue *l'Éclairage Électrique*. 86 francs.

II. *Laboratoire.*

M. PICOU Un électro-diapason.

III. *École.*

COISEAU 20 coupons.

DESROZIERS 1 —

JAVAU 8 —

VIOLET 1 —

SOCIÉTÉ INDUSTRIELLE DES TÉLÉPHONES . . . Deux albums de dessins d'appareillage.

L'ordre du jour appelle les communications techniques.

ALLOCUTION DU PRÉSIDENT

M. M. LEBLANC. — « Messieurs, Mon éminent prédécesseur, M. Bouty, a insisté sur l'union de plus en plus étroite qui s'établissait entre la science et l'industrie. Le savant et l'ingénieur ont un but commun qui est l'asservissement de la nature à l'homme. Le savant va devant, reconnaît les voies et les jalonne. L'ingénieur suit et les rend praticables. Mais nous avons tous le plus grand respect et la plus grande admiration pour ces hommes désintéressés qui, comme M. Bouty, poussent leurs investigations sans autre souci que de découvrir une vérité ou un phénomène nouveaux et nous servent de guides.

» La faveur avec laquelle vous avez accueilli les communications de MM. Langevin et Villard montre combien vous vous intéressez aux plus récentes découvertes scientifiques et aux théories nouvelles. Je serais très reconnaissant à ces Messieurs de bien vouloir continuer à nous tenir au courant de tous les progrès réalisés.

» Rien ne saurait nous être plus utile. Il semblerait, au premier abord, que les phénomènes des ampoules de Crookes soient simplement curieux et que les conditions très spéciales, où ils se manifestent, leur ôtent toute importance au point de vue naturel. Je crois, au contraire, que l'atmosphère où nous vivons empêche la manifestation des phénomènes les plus remarquables. Si nous vivions dans l'eau, au lieu de vivre dans l'air, certaines notions fondamentales, telles que celle du potentiel électrique, nous eussent toujours échappé. En constituant un espace vide d'air, nous nous remettons dans le cas général de la nature et pouvons ainsi acquérir quelques connaissances des phénomènes qui se manifestent dans l'espace interplanétaire.

» Leur étude ne servira pas seulement de contribution à la philosophie naturelle et l'art de l'ingénieur ne tardera pas à les utiliser.

» Déjà les remarquables travaux de M. Cooper Hewitt nous ont montré le parti que l'on pouvait tirer des tubes à vapeur de mercure; non seulement pour faire d'intéressants appareils d'éclairage, mais

aussi pour constituer un interrupteur et une soupape permettant de produire et de redresser des courants alternatifs de la plus haute fréquence.

» Lorsque ces nouveaux appareils seront devenus industriels, c'est-à-dire lorsque leur conduite sera devenue assez simple pour être confiée à un manœuvre quelconque, ils nous fourniront, sans doute, le moyen de transmettre de l'énergie à distance, sans fil, au moyen d'oscillations électriques de grande fréquence.

» Quant au grand problème industriel, toujours posé et jamais résolu, celui de la transformation directe de la chaleur en électricité, j'ai toujours pensé que ce serait soit la chaleur à l'état rayonnant, soit la lumière, que l'on parviendrait à transformer économiquement et non la chaleur communiquée par conductibilité à un corps, et que cette transformation s'effectuerait dans un tube à vide.

» Ceci s'adresse surtout aux jeunes d'entre nous, qui seraient tentés par le démon de l'invention. Notre génération a vécu de l'induction et je crois que ce thème est usé. Nous avons passé notre temps à faire tourner des champs à gauche ou à droite et à combiner leurs mouvements avec ceux de collecteurs ou de balais. Ces questions ont été tellement travaillées de tout côté qu'on peut les considérer comme épuisées. Si l'on veut trouver quelque nouveauté, il faut la chercher dans les tubes à vide.

» Mais, si tous les problèmes relatifs au transport de l'énergie peuvent être considérés comme résolus, il s'en faut que toutes les solutions acquises soient connues des industriels et j'ai été souvent frappé du temps que mettent les idées exposées et discutées par des Sociétés comme celle-ci à se répandre parmi les intéressés.

» Ainsi, depuis deux ans, vous vous préoccupez des surtensions sur les longues lignes parcourues par des courants alternatifs, notamment lorsqu'elles contiennent des câbles armés. Nous allons encore en parler ce soir. Une communication de M. Dusaugé faite au nom de notre quatrième commission a admirablement résumé les précautions qu'il convenait de prendre pour les rendre inoffensives ; or, prié, l'année dernière, par un de mes bons amis, de rechercher pourquoi un réseau d'éclairage fonctionnait mal, j'y trouvai un long câble armé donnant lieu à des surtensions manifestes et proposai d'appliquer les limiteurs à écoulement d'eau pré-

conisés par M. Dusaugéy. Ma proposition fut trouvée saugrenue par l'ingénieur, pourtant fort capable, qui avait fait l'installation et mon ami conclut, avec regret, que l'âge avait prématurément affaibli mes facultés.

» J'aurais été très heureux, à ce moment, de pouvoir me reporter à un code des règles de l'art, en l'an 1905, relatives à l'installation des lignes à haute tension.

» Ne pensez-vous pas qu'il y aurait lieu d'en établir un et d'en charger notre quatrième commission que préside, avec tant de compétence, M. Grosselin. Vous rendriez ainsi un véritable service aux industriels qui, constamment absorbés par leur préoccupations commerciales, ne peuvent assister à vos séances, ni même lire le compte-rendu de vos discussions.

» Parmi les autres questions techniques d'intérêt immédiat que nous pourrions discuter, je vous en signalerai deux.

» D'abord la traction électrique par courant alternatif monophasé. Elle vient à son heure : les réseaux de tramways urbains, auxquels s'appliquait économiquement le courant continu à 5 ou 600 volts, sont presque tous construits. Le matériel électrique ayant le grand défaut, au point de vue des constructeurs, de s'user très peu et d'être facilement réparable par les exploitants, il a fallu trouver un nouveau débouché et l'on s'est préoccupé de multiplier les tramways interurbains. Comme on ne pouvait le faire économiquement avec du courant continu à tension constante, on a eu recours à l'alternatif monophasé.

» D'excellents résultats ont déjà été obtenus, dans cette voie, en Amérique. En France, nous attendons encore une première application. Vous connaissez tous nos chemins de fer d'intérêt local à voie étroite, excellents peut-être pour le transport des céréales, mais déplorables pour celui des voyageurs, avec leurs trois trains par jour, à l'allure de tortue. C'est que l'on s'est préoccupé de rendre leur exploitation aussi économique que possible, avec des locomotives à vapeur.

» La substitution de la traction électrique à longue distance, par courants alternatifs de haute tension, à la traction à vapeur, permettra d'établir ces lignes dans des conditions plus économiques de premier établissement et bien plus favorables pour l'exploita-

tion, car on sera naturellement conduit à multiplier les trains, en diminuant leur poids, et on pourra gravir les plus fortes rampes à la vitesse normale, au lieu de les remonter péniblement à la vitesse de 6 kilomètres à l'heure, ce qui sera tout bénéfice pour les voyageurs.

» Or, il y a encore les deux tiers de nos départements à organiser ainsi; bien que, dans notre pays, les nécessités de la mobilisation et l'âge de nos grandes compagnies semble reculer fort loin l'application de l'électricité à la grande traction, sauf dans des cas très particuliers, une question intéressante se pose dès à présent. Le courant monophasé, simplement transformé sur les voitures, fournira-t-il la meilleure solution dans ce cas? Ne convient-il pas de le redresser avant de l'envoyer dans les machines? Enfin le courant continu a-t-il dit son dernier mot?

» Aux temps héroïques de l'électricité, une vive lutte s'éleva entre MM. Marcel Deprez et Gustave Cabanellas, les deux promoteurs du transport de l'énergie à distance.

» M. Marcel Deprez était le champion du courant continu à tension constante; Cabanellas, celui du courant continu d'intensité constante.

» Gustave Cabanellas mourut prématurément, mais ses idées ont été reprises et mises en pratique par M. Thury, avec le succès que vous savez.

» Tout le monde est d'accord que c'est le meilleur système de transport de l'énergie en grande masse, mais la plupart des exploitants hésitent à adopter ce système parce que M. Thury est seul à le pratiquer. Aussi M. Thury réclame-t-il des concurrents.

» Pourquoi les constructeurs, qui sont parmi nous, ne lui feraient-ils pas ce plaisir? Je sais bien que le triphasé est encore à la mode, malgré les surtensions, le pompage des alternateurs et des commutatrices.....; mais on lui a trop demandé, surtout lorsqu'on a voulu lui faire actionner des machines à vitesse continuellement variable.

» Dans ces dernières années, on s'est préoccupé de remplacer par des dynamos les machines d'extraction de mines, dont la consommation de vapeur était fantastique. On a voulu se servir de courants triphasés, qui produisent naturellement des vitesses constantes et, pour cela, on n'a reculé devant aucune complication.

» Or, la solution naturelle ne consistait-elle pas dans l'emploi de moteurs à courant continu recevant un courant d'intensité constante, mais de tension variable? On eut fait varier à volonté leur couple moteur en décalant les balais, sans avoir besoin d'aucun rhéostat.

» Puisque je vous ai entraînés sur le terrain industriel, permettez-moi d'y entrer plus avant.

» En France, les exploitations électriques sont généralement prospères. Les Sociétés de construction le sont moins. C'est que l'on s'est outillé, vers 1898, en vue de la construction de nos réseaux de tramways et que, la période de premier établissement passée, l'entretien étant très faible, l'outillage s'est trouvé beaucoup trop grand. Il en est résulté une concurrence effrénée.

» Plusieurs tentatives d'accord, entre les constructeurs, ont été faites : aucune n'a abouti. Je n'ose vous demander d'intervenir, ne voyant pas comment vous pourriez le faire.

» Cependant, vous les aideriez beaucoup en désignant comme normaux un certain nombre de types de machines à courants continu et alternatif.

» Entre la *standardization* américaine, que je ne saurais recommander, parce qu'elle retarde le progrès, et nos conditions de travail actuelles, il y a un juste milieu.

» En France, toute Compagnie qui se respecte possède un service électrique, dont le chef a des idées personnelles qu'il veut faire appliquer. Il en résulte que toute commande entraîne des études nouvelles et la création de modèles spéciaux. Souvent la machine faite pour la première fois demande des retouches et l'expérience acquise sur elle ne sert pas, puisqu'on n'en fait pas d'autre semblable.

» Je le répète, vous rendriez un véritable service aux constructeurs, si vous définissiez un nombre de machines normales, assez grand pour satisfaire aux conditions variées de la pratique courante, mais limité, et si vous vouliez bien ensuite, dans vos commandes, faire un choix parmi ces types de machines.

» D'un autre côté, on construit annuellement en France pour 30 000 000 de francs, environ de matériel électrique, mais pour cela il faut demander 300 000 000 au public, car, dans une installation, le

prix des dynamos, transformateurs, tableaux, ne représente guère que 10 p. 100 de la dépense totale, et ce matériel ne s'use que très lentement.

» Augmenter rapidement un chiffre d'affaires, dans ces conditions, est bien difficile et, pour cela, il faut s'ingénier.

» Un certain mouvement sera sans doute produit par la création des tramways interurbains. Un autre naîtra de la nécessité où seront les mécaniciens de renouveler leur outillage, par suite de l'emploi des outils en acier rapide ; mais la stagnation reviendra vite.

» Il faudrait, pour alimenter largement notre industrie, déterminer la mise en valeur de toutes nos forces hydrauliques et, pour cela, leur trouver un emploi.

» Or, on oublie trop que la véritable industrie française est l'agriculture, qui occupe la moitié de notre population. C'est de ce côté que nous devons trouver le débouché qui nous manque, en commençant par l'hydraulique agricole.

» Les élévations d'eau permettent d'utiliser de la manière la plus avantageuse l'énergie fournie par les chutes d'eau, l'utilisation pouvant être aussi continue que la production.

» Une terre irriguée, dans tout notre midi, décuple de valeur. On m'a même signalé, au ministère de l'Agriculture, des terrains situés dans la Camargue, du côté d'Arles, qui sont passés de 300 francs à 12 000 francs l'hectare.

» D'autre part, toutes les terres cultivables des bords de la Méditerranée, exclusivement formées par des deltas de rivière, où la terre est imparfaitement séparée des eaux, sont malsaines. Il est impossible de les drainer par les procédés ordinaires, puisque le fond des marécages est inférieur au niveau de la mer. Donc, il faudrait imiter les Hollandais et transformer ces terrains en polders, en élevant mécaniquement les eaux. Ne serait-ce pas là une belle utilisation du transport de l'énergie ? En serait-il de plus profitable pour la collectivité ? Nous en avons eu un exemple dans les landes de Gascogne, le pays le plus malsain de France, dont on a fait un sanatorium. Au point de vue financier, 6 000 000 ont été consacrés à cette opération, qui a donné aux terrains une plus value dépassant un milliard.

» Il y aurait certainement de grandes difficultés à surmonter,

pour remplir un pareil programme, et il faudrait probablement demander aux pouvoirs publics de modifier la loi des syndicats agricoles. Mais notre Société ne pourrait-elle pas en prendre l'initiative ?

» Nous ne sommes plus à l'époque où, pour faire des affaires, il suffisait d'ouvrir une boutique et d'attendre que les passants fussent attirés par la vue de l'étalage. Pour faire des affaires aujourd'hui, il faut les créer et, malheureusement, nous avons à ce point de vue beaucoup à apprendre de nos rivaux étrangers.

» La plupart des électriciens français font partie de cette Société et je m'adresse à eux tous. Si je pouvais les déterminer à s'aider mutuellement au lieu de se faire une concurrence acharnée, et à unir leurs efforts pour faire ouvrir de nouveaux débouchés à leur industrie, la présidence à laquelle vous m'avez appelé serait l'honneur de ma carrière, et je vous serais infiniment reconnaissant de me l'avoir procuré. » (*Applaudissements.*)

ÉTUDE DES PROPRIÉTÉS MAGNÉTIQUES DES TOLES PAR LA MÉTHODE DU WATTMÈTRE

M. JOUAUST. — « Messieurs, Depuis quelques années une nouvelle méthode d'essai des tôles destinées à la construction des appareils pour courant alternatif s'est répandue principalement dans les maisons de construction allemandes. A la demande d'un certain nombre des industriels qui s'adressent au Laboratoire Central d'Electricité, nous avons dû nous livrer à l'étude de cette méthode et à la comparaison des résultats qu'elle donne avec ceux que fournissent les autres méthodes de mesure employées jusqu'à ce jour.

» Nous sommes arrivés ainsi à quelques conclusions qui nous ont paru intéressantes et que sont venus du reste confirmer et compléter les résultats d'une étude poursuivie à la même époque au Physikalisch-Technische-Reichanstalt par Gumlich et Rose ⁽¹⁾. Nous avons pensé que, dans ces conditions, il ne serait pas sans intérêt de faire connaître à la Société Internationale des Electriciens les principaux points de ce travail, tant au point de vue du mode opératoire, qui peut trouver son application dans les laboratoires des usines de construction, qu'au point de vue des résultats obtenus qui donnent des renseignements sur les phénomènes de l'hystérésis alternative, phénomènes pourtant bien souvent étudiés par les physiciens, mais presque toujours dans des conditions qui ne sont pas celles où ils se présentent industriellement ⁽²⁾.

» Pendant longtemps l'étude des tôles destinées à être utilisées dans les transformateurs a consisté essentiellement en un tracé, par la méthode balistique, d'un certain nombre de cycles d'hystérésis correspondant à diverses inductions.

» Ce mode opératoire avait la prétention de renseigner aussi bien sur la perméabilité de l'acier employé, que sur les pertes dues à

⁽¹⁾ *Electrotechnische Zeitschrift*, 1905, page 408 et 503.

⁽²⁾ Voir à ce sujet HOPKINSON, WILSON et LYNDALE, *Proc. Roy. Soc.*, t. LHI, p. 352. — MAURAIN, *Ann. de Physique et Chimie*, t. XIV, page 282. — GUYE et HERFELD, *Comptes Rendus*, 20 avril 1903.

l'hystérésis. Quant aux pertes dues aux courants induits, on les déduisait, par la seule connaissance de la résistivité de l'acier, de formules approchées dues à Ewing et à Fleming. Les résultats déduits de ces mesures diffèrent assez notablement de ceux que donnent l'expérience, comme nous le verrons tout à l'heure, aussi des mesures plus précises semblaient elles être nécessaires.

» C'est Epstein ⁽¹⁾ qui le premier proposa à l'Association des Electriciens allemands de choisir, comme méthode caractéristique pour l'essai des tôles destinées aux transformateurs, l'évaluation, au moyen du wattmètre, des pertes produites dans un circuit magnétique de dimensions déterminées.

» Cette méthode avait du reste déjà été employée par de nombreux expérimentateurs pour des recherches sur l'aimantation alternative en particulier par Steinmetz ⁽²⁾ et Gray ⁽³⁾.

» A la suite de cette proposition, l'Association des Électriciens allemands émit le vœu que les qualités des tôles fussent caractérisées par le nombre donnant les pertes totales en watts par kilogramme pour l'induction 10 000, la fréquence de 50 périodes par seconde et la température de 30° degrés centigrades.

» Au sujet de la forme à adopter pour le circuit magnétique, aucune décision ne fut prise. Trois appareils avaient été proposés pour permettre de réaliser rapidement un circuit magnétique fermé, facile à introduire dans un enroulement magnétisant et permettant d'utiliser une assez grande quantité de la matière à étudier.

» Tous ces appareils ont été décrits dans les périodiques scientifiques, aussi n'insisterons-nous pas à ce sujet.

» Comme nous allons le voir par la suite, les spécifications des électriciens allemands sont totalement insuffisantes et, de plus, la méthode de mesure est assez délicate à appliquer.

» Dans la pensée de ceux qui la préconisaient, elle devait être une méthode vraiment industrielle, destinée à remplacer les méthodes balistiques qui conviennent seulement aux laboratoires et sont d'une réalisation assez difficile dans les ateliers de construction.

⁽¹⁾ *Electrotechnische Zeitschrift*, 1900.

⁽²⁾ STEINMETZ, *Transac. of the American Inst. of elec. engin.*, t. VII, page 8.

⁽³⁾ GRAY, *Proc. Roy. Soc. London*, t. LVI, page 48.

Aussi Epstein, dans l'article de l'*Electrotechnische Zeitschrift* consacré à ce nouveau dispositif, indique-t-il un certain nombre d'approximations, comme, par exemple, d'utiliser un alternateur ayant une force électromotrice à peu près sinusoïdale et d'admettre que la différence de potentiel, aux bornes de l'enroulement magnétisant, reste sinusoïdale dans les différentes conditions où l'on est amené à faire fonctionner l'appareil. En réalité, on peut être amené à de graves erreurs si on emploie cette méthode sans d'excessives précautions ; c'est ainsi que dans une communication sur le vieillissement des tôles, faite devant l'association des électriciens allemands ⁽¹⁾, on trouve des résultats obtenus sur les mêmes tôles, par la méthode balistique et la méthode du wattmètre, qui diffèrent entre eux de plus de 20 p. 100.

» Mais, avant de discuter les avantages ou les inconvénients de cette méthode, et de comparer les résultats qu'elle donne avec ceux fournis par les autres méthodes, il importe, je crois, de la décrire avec quelques détails.

» DESCRIPTION DU MODE OPÉRATOIRE. — Au Laboratoire Central d'Electricité, nous opérons sur des anneaux de tôles à section rectangulaire, ayant 30 centimètres de diamètre extérieur et 28 centimètres de diamètre intérieur.

» Dans ces conditions, on ne commet pas une grande erreur en considérant l'aimantation comme uniforme dans toute la largeur de la tôle.

» Le nombre des tôles est tel que le poids de l'anneau soit d'environ 10 kilogrammes. L'épaisseur moyenne de chaque tôle employée est déduite d'un certain nombre de mesures au palmer. On connaît donc très exactement le volume de fer employé. Ces mesures géométriques assez longues peuvent d'ailleurs être remplacées, avec une précision suffisante, par une simple pesée, pourvu qu'on connaisse la densité du fer employé.

» Les tôles sont soigneusement vernies à la gomme laque à plusieurs reprises, puis isolées au papier. On ne saurait, comme nous le verrons par la suite, prendre trop de précautions pour

⁽¹⁾ *Industrie électrique*, octobre 1904, p. 359.

réaliser l'isolement des tôles. L'enroulement magnétisant est constitué par environ 200 spires de fil souple.

» La figure 1 donne le schéma du montage employé. L'enroulement magnétisant est relié aux bornes de l'alternateur sans autre intermédiaire qu'un ampèremètre et l'enroulement à gros fil du wattmètre. Le voltmètre et l'enroulement à fil fin du wattmètre sont reliés directement aux bornes de l'enroulement magnétisant.

» Dans nos expériences nous avons utilisé un wattmètre à lecture directe de Siemens (30 volts. 5—2,5 ampères) et, comme voltmètre, un électrodynamomètre du même constructeur.

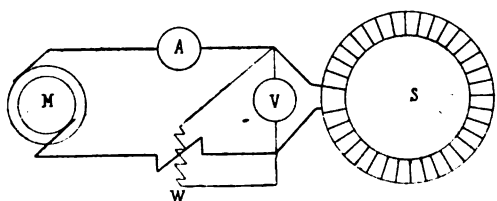


Fig. 1.

» L'induction à laquelle travaille le fer se déduit facilement de ses dimensions géométriques, de la fréquence du courant et de la valeur moyenne de la force électromotrice induite.

» Désignons, en effet, par S la section du fer, par N le nombre de tours de l'enroulement magnétisant, par n le nombre de périodes par seconde du courant employé ; soit e la valeur instantanée en volts de la force électromotrice induite, nous avons

$$e = N. S. \frac{d\mathfrak{B}}{dt} 10^{-8}$$

» Intégrons cette expression dans l'intervalle d'une demi-période, en nous rappelant qu'aux valeurs nulles de la force électromotrice correspondent les valeurs maxima de l'induction, nous avons

$$\int_0^{\frac{T}{2}} e dt = 2N. S. \mathfrak{B}. 10^{-8}$$

$$\frac{T}{2} e_{\text{moy.}} = 2NS \mathfrak{B} 10^{-8}$$

d'où

$$\mathfrak{B} = \frac{e_{\text{moy.}} 10^8}{4n. N. S}$$

» Certains appareils permettent de connaître $e_{\text{moy.}}$, par exemple le dispositif employé par Rose et Kühns ⁽¹⁾ dans lequel un appareil polarisé est réuni, pendant une demi-période seulement, avec la force électromotrice alternative à mesurer.

» Mais en général (et c'était le cas pour nous), les voltmètres à courant alternatif donnent la valeur efficace de la différence de potentiel qu'ils mesurent.

» Il faut donc connaître le rapport α de la force électromotrice efficace à la force électromotrice moyenne. C'est ce rapport qu'on appelle le facteur de forme. Dans ces conditions, la valeur de l'induction est donnée par la formule

$$\mathfrak{B} = \frac{E_{\text{eff.}} 10^8}{4n NS \alpha}$$

» Inutile de dire que c'est dans les conditions de fonctionnement qu'il importe de déterminer ce facteur de forme et qu'il peut être notablement différent de la valeur à vide

» Dans nos expériences, nous avons utilisé un alternateur Gramme appartenant à l'École Supérieure d'Electricité et dont la force électromotrice est, à vide, très voisine de la sinusoïde. Nous avons relevé dans les diverses conditions de fonctionnement où nous avons été amené à l'utiliser, la valeur du facteur de forme de la différence de potentiel aux bornes de l'enroulement magnétisant.

» Cette détermination se faisait au moyen d'un oscillographe bifilaire placé en dérivation avec le voltmètre. Pour éviter les perturbations qu'aurait pu amener, sur la forme de l'onde, le moteur synchrone de l'oscillographe, ce moteur était actionné au moyen d'un courant alternatif fourni par un autre alternateur entraîné, par un manchonnage rigide, par le même moteur que le premier alternateur. Pour chacune des conditions de fonctionnement on relevait un certain nombre de clichés de la différence de potentiel aux bornes et on mesurait sur ces clichés les valeurs efficace et moyenne de la différence de potentiel. Dans toutes les conditions où nous avons été amenés à fonctionner, les différences entre la valeur trouvée pour ce facteur de forme et la valeur 1,11, qui correspond à la

⁽¹⁾ ROSE et KÜHNS, *Electrotechnische Zeitschrift*, 1903, page 992.

sinusoïde, ne dépassaient pas l'ordre de grandeur des erreurs d'expérience.

» Il est très important dans ces mesures de n'intercaler aucune résistance notable entre les bornes de l'alternateur et les bornes de l'enroulement magnétisant.

» On sait, en effet, que l'hystérésis modifie notablement la forme de l'onde de courant et que toute augmentation de résistance dans le circuit aurait pour effet d'augmenter l'action produite par cette déformation du courant sur la forme de la force électromotrice à vide.

» Connaissant la section du fer, la fréquence du courant et le facteur de forme de l'onde de la différence de potentiel aux bornes, on ne peut encore déduire la valeur de l'induction de la lecture faite au voltmètre, placé comme nous l'avons indiqué plus haut, car ce voltmètre indique, non pas la force électromotrice induite dans l'enroulement, mais la résultante de cette force électromotrice et de la chute ohmique dans l'enroulement magnétisant.

» De même, les indications du wattmètre sont supérieures aux pertes dans le fer, car elles comportent en outre les pertes par effet Joule dans l'enroulement inducteur et les consommations du voltmètre et du fil fin du wattmètre.

» Calculons ces diverses corrections.

» Soit I le courant qui passe dans l'ampèremètre, I_1 le courant dans l'enroulement inducteur, i_1 le courant dans le fil fin du wattmètre, i_2 le courant dans le voltmètre

» E l'indication du voltmètre.

» r_1, r_2, R les résistances du fil fin du wattmètre, du voltmètre, de l'enroulement inducteur,

W_1 les indications du wattmètre,

W les pertes dans le fer, nous avons

$$W = W_1 - \frac{E^2}{r_1} - \frac{E^2}{r_2} - R I_1^2$$

d'autre part

$$i_1 = \frac{E}{r_1} \quad i_2 = \frac{E}{r_2}$$

» I_1 est la différence algébrique de deux courants (*fig. 2*), le cou-

rant $(i_1 + i_2)$ en phase avec E et le courant I faisant avec E un angle φ tel que

$$\cos \varphi = \frac{W_1}{EI}$$

» On a donc

$$I_1 = \sqrt{I^2 - 2(i_1 + i_2) I \cos \varphi + (i_1 + i_2)^2}$$

» Développons cette expression par la formule du binôme, négligeons tous les termes qui contiennent des puissances de $(i_1 + i_2)$ et

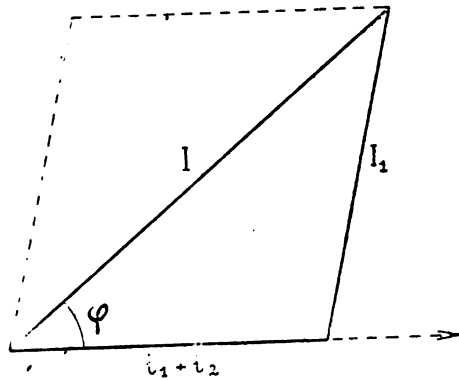


Fig. 2.

dont la valeur est inférieure aux erreurs d'expérience, comme nous le verrons par les données numériques que nous fournirons plus loin, nous avons

$$I_1 = I - (i_1 + i_2) \cos \varphi$$

» Nous voyons déjà comment des indications du wattmètre nous déduisons les pertes dans le fer.

» Désignons par E_1 la force électromotrice induite dans l'enroulement. La différence de potentiel E est la résultante de cette force électromotrice et de la chute ohmique dans l'enroulement RI_1 qui fait avec la première un angle φ tel que si on pose

$$W_1 = W_1 - \frac{E^2}{r_1} - \frac{E^2}{r_2}$$

on ait

$$\cos \varphi_1 = \frac{W_2}{EI_1}$$

On a donc (fig. 3)

$$E_1 = \sqrt{E^2 - 2ERI_1 \cos \varphi_1 + R^2 I_1^2}$$

» Dans les conditions où l'on opère les puissances de RI_1 sont négligeables, on a donc

$$\begin{aligned} E_1 &= E - RI_1 \cos \varphi_1 \\ &= E - \frac{RW_2}{E} \end{aligned}$$

» C'est la valeur de E , ainsi déterminée, que nous introduirons dans le calcul de l'induction.

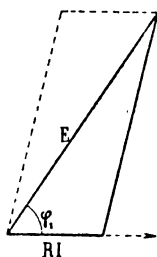


Fig. 3.

» SÉPARATION DES PERTES. — Il semblerait *à priori* que, si l'on cherche, suivant les propositions des électriciens allemands, à déterminer les pertes totales seulement pour l'induction 10 000 et la fréquence 50, une seule mesure faite dans ces conditions soit nécessaire. En réalité, il faut faire toute une série de mesures à des inductions aussi voisines que possible de 10 000, mais à des fréquences variables, de façon à pouvoir séparer, autant que possible, les pertes dues à l'hystérésis de celles dues aux courants induits.

On sait en effet que les pertes dans une masse donnée de tôles, pour une induction donnée $\mathfrak{B}$, peuvent être, en fonction de la fréquence, représentées par la formule

$$(1) \quad W = An \mathfrak{B}^{1.6} + Cn^2 \mathfrak{B}^2$$

A et C étant deux constantes dépendant de la tôle.

» Le premier terme représente les pertes par hystérésis, le second les pertes par courants induits. Nous verrons tout à l'heure jusqu'à quel point toutes ces hypothèses sont justifiées.

» Le second terme représente une perte par effet Joule dans un

circuit induit fictif, il est de la forme $\frac{\varepsilon^2}{\rho}$, ρ étant la résistance de ce circuit induit et ε la valeur efficace de la force électromotrice induite dans ce circuit par la variation de l'induction et, comme nous l'avons vu tout à l'heure, à même induction maximum, la valeur de ε est proportionnelle au facteur de forme de l'onde d'induction.

» D'autre part, la résistance du circuit fictif envisagé varie avec la température, son coefficient de variation étant celui du fer, soit 0,004 par degré. Si donc, on a opéré avec un facteur de forme α différent de 1,11 et à une température différente de 30° C, il faut opérer une correction telle sur le chiffre trouvé, que ce chiffre étant exprimé par la formule (1), la valeur prise par les pertes soit exprimée par la formule

$$W = An \mathfrak{B}^{1,6} + Cn^2 \mathfrak{B}^2 \left(\frac{1,11}{\alpha} \right)^2 \times \frac{1}{1 + 0,004 (30 - t)}$$

» La correction due à l'influence du facteur de forme peut n'être pas négligeable dans le cas de certaines machines.

» La séparation des deux espèces de pertes se fait très facilement en opérant à diverses fréquences pour la même induction.

» La formule (1) peut s'écrire

$$\frac{W}{n} = A\mathfrak{B}^{1,6} + Cn \mathfrak{B}^2$$

» En la traduisant graphiquement et en prenant pour abscisses le nombre de périodes par seconde et pour ordonnées les valeurs de $\frac{W}{n}$, on obtient une droite dont l'ordonnée à l'origine donne $A\mathfrak{B}^{1,6}$.

» Cette séparation n'est pas du reste sans présenter quelques difficultés pratiques.

» Il est presque impossible d'opérer à des fréquences plus faibles que 20 à 25 périodes par seconde. On voit donc qu'en prolongeant la droite jusqu'à l'axe des ordonnées, on fait une extrapolation par une valeur assez éloignée des valeurs connues et, par suite, qu'une faible erreur dans la direction de la droite peut amener une grave erreur sur la valeur de $A\mathfrak{B}^{1,6}$.

» Dans ces conditions, on voit que, quoique deux mesures suffi-

sont théoriquement pour déterminer la droite, il importe d'en faire un très grand nombre avec le plus de précision possible.

» Il est un autre genre de correction qu'il importe de faire. Il est absolument impossible d'opérer exactement à l'induction voulue, à l'induction 10 000 par exemple. Les différents points que l'on détermine ne correspondent donc pas tous exactement à la même induction; il en résulte qu'ils ne sont pas en ligne droite.

» Voici alors comment on opère. On détermine approximativement cette droite en tenant compte des valeurs de l'induction correspondant aux divers points. On arrive ainsi à déterminer des valeurs approchées A_1 et B_1 des coefficients A et C . Soit par exemple W_1 , la valeur trouvée pour l'un des points correspondant à la fréquence n et à une induction $\mathfrak{B} + d\mathfrak{B}$.

» Cherchons à calculer les pertes W_2 qu'on obtiendrait par l'induction $\mathfrak{B}$, nous avons

$$W_1 = A_1 n (\mathfrak{B} + d\mathfrak{B})^{1,6} + C_1 n^2 (\mathfrak{B} + d\mathfrak{B})^2$$

ou, en développant et en négligeant les termes contenant des puissances de $d\mathfrak{B}$

$$W_1 = A_1 n \mathfrak{B}^{1,6} \left(1 + 1,6 \frac{d\mathfrak{B}}{\mathfrak{B}} \right) + C_1 n^2 \mathfrak{B}^2 \left(1 + 2 \frac{d\mathfrak{B}}{\mathfrak{B}} \right)$$

d'autre part

$$W_2 = A_1 n \mathfrak{B}^{1,6} + C_1 n^2 \mathfrak{B}^2$$

Donc

$$W_2 = W_1 - 1,6 \frac{d\mathfrak{B}}{\mathfrak{B}} A_1 n \mathfrak{B}^{1,6} - 2 C_1 n^2 \mathfrak{B}^2 \frac{d\mathfrak{B}}{\mathfrak{B}}$$

» On calcule ainsi, pour chaque point, les valeurs de W_2 . Les nouveaux points ainsi obtenus se distribuent mieux sur une droite que les précédents et permettent la détermination de deux nouvelles valeurs avec lesquelles on peut, s'il y a lieu, procéder à une seconde approximation.

» La figure 4 montre le résultat de ces corrections, les points marqués d'une croix étant ceux déterminés par l'expérience et ceux marqués d'un cercle les points obtenus après correction.

» Il existe encore deux autres causes d'erreur sur lesquels il importe d'attirer l'attention.

» Le choix du wattmètre pour ce genre d'expériences est assez délicat.

» On sait que les wattmètres, lorsqu'ils mesurent la puissance fournie par un courant alternatif en retard par rapport à la tension qui le produit, donnent des indications trop grandes, le facteur par lequel il faut les multiplier étant

$$f' = \frac{\cos \varphi}{\cos \psi \cos (\varphi - \psi)}$$

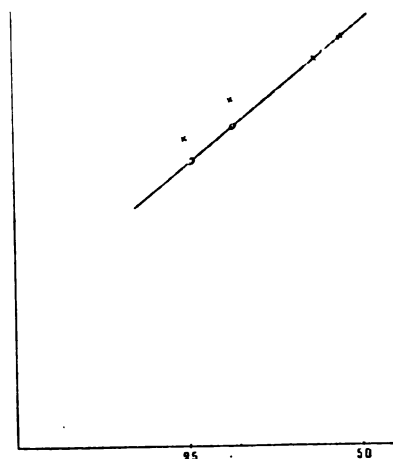


Fig. 4.

φ étant le décalage, par rapport à la tension, du courant qui passe dans le wattmètre et ψ étant donné par la relation

$$\operatorname{tg} \psi = \frac{2\pi n l}{R}$$

l étant le coefficient de self-induction de la bobine à fil fin du wattmètre, R étant sa résistance et n la fréquence du courant.

» Dans les différentes expériences que nous avons faites, $\cos \varphi$ a toujours été supérieur à 0,6.

» On arrive aujourd'hui à construire des wattmètres à lecture directe dans lesquels, pour des facteurs de puissance de cet ordre, l'erreur due à la self-induction de la bobine mobile est absolument négligeable. Mais on voit qu'on ne pourrait pas utiliser tous les wattmètres pour ce genre de mesure.

» Un autre inconvénient provenant de la faible valeur du facteur

de puissance est que les déviations du wattmètre dans les conditions de tension et de courant maxima qui lui correspondent ne sont guère que de la moitié de la graduation ⁽¹⁾.

» On se trouve donc dans de mauvaises conditions de sensibilité. En réalité, dans nos mesures, nous n'avons pas hésité à surcharger nos appareils en ne les laissant en circuit que le temps nécessaire aux mesures.

» PRÉCAUTIONS A PRENDRE. — Il importe de très bien isoler les tôles et nous avons eu de ce chef de nombreux déboires au début de nos expériences. Avec des anneaux dont les tôles nous avaient semblé d'abord bien isolées, nous avons vu tout à coup, à la suite d'une secousse donnée à l'anneau, les indications de l'ampèremètre et du wattmètre croître considérablement et l'intensité par exemple passer de 1 à 2. Nous avons constaté que ces accidents, qui ne pouvaient être dus qu'à des contacts se produisant entre tôles, pouvaient être évités par un isolement encore plus soigné.

» Nous donnons ci-dessous un extrait d'une feuille d'expérience, ce qui permettra de se rendre compte de l'ordre de grandeur des diverses quantités qui entrent dans ces mesures.

E (volts)	56,5
Tours par minute	1505
W_1 (watts)	44,8
I (ampères)	1,12
Fréquence	50,2
$\frac{E^2}{r_1}$	4,37
$\frac{E^2}{r_2}$	3,19
W_2	37,3
i_1	0,077
i_2	0,056
$\cos \varphi$	0,7
I_1	1,04

(1) La maison Siemens construit pour ce genre d'étude un wattmètre spécial qui, dans les conditions de tension et de courant maxima donne sa déviation maximum pour un facteur de puissance de 0,5.

RJ_1^2	0,32
W	37
E_1	56,3
$\mathfrak{B}$	10 000
$Cn^2 \mathfrak{B}^2$ (watts)	10,6

épaisseur moyenne d'une tôle 0,039 cm.

» Je vous prie de m'excuser si je me suis étendu aussi longuement sur le mode opératoire, mais j'ai pensé que tous ces renseignements pourraient être utiles aux industriels qui désirent utiliser cette méthode de mesure qui se prête évidemment mieux que tout autre aux ressources dont on dispose dans les ateliers de construction. Il convient maintenant d'examiner les résultats obtenus.

» Le premier point est de chercher à se rendre compte de la précision des résultats obtenus par cette méthode.

» Nous venons de voir que la fonction de la fréquence représentant, pour une induction donnée, le quotient des pertes totales par la fréquence est sensiblement linéaire entre 25 et 50 périodes. En réalité c'est une fonction beaucoup plus compliquée, probablement très difficile à représenter par une expression mathématique, mais il est une chose dont nous sommes sûrs, c'est que c'est une fonction *continue*.

» Par conséquent, si nous extrapolons en prolongeant la courbe représentative jusqu'à l'axe des y , nous pouvons affirmer que l'ordonnée à l'origine représente, pour l'éprouvette étudiée, les pertes par cycle dans ce que nous sommes convenus d'appeler l'hystérésis statique. Si donc nous trouvons une différence entre cette ordonnée à l'origine et les résultats trouvés par exemple par la méthode balistique. C'est que, ou bien nos expériences sont mauvaises ou bien que la forme de la courbe est telle que nous n'arrivons pas à extrapoler correctement.

» Mais on n'a nullement le droit d'en conclure, comme l'ont fait quelques expérimentateurs, qu'il existe une différence entre l'hystérésis statique et ce qu'on appelle l'hystérésis alternative ou d'en déduire, comme l'a fait Benischke ⁽¹⁾, des considérations sur l'in-

(1) *Electrotechnische Zeitschrift*, 1906, page 9.

fluence de la forme de la courbe de différence de potentiel sur les pertes par hystérésis. Si l'extrapolation est faite correctement, l'ordonnée à l'origine donne la mesure de l'hystérésis statique avec plus de précision encore que les méthodes balistiques, qui ne sont que des méthodes dans lesquelles on fait varier l'aimantation par bonds brusques et, comme j'ai déjà eu l'occasion de vous le dire, la manière dont sont effectués ces bonds influe un peu sur la valeur de l'aire du cycle.

» La forme rectiligne de la courbe semble nous promettre une extrapolation facile et, en effet, dans toutes les expériences que j'ai faites, la différence entre les résultats obtenus par la méthode du wattmètre et ceux fournis par la méthode balistique n'a pas dépassé 5 p. 100, ce qui est bien de l'ordre de grandeur des erreurs d'expérience. Il est à remarquer pourtant que cette différence a été toujours systématiquement dans le même sens, de telle sorte que les pertes mesurées par la méthode balistique sont plus petites que celles obtenues par la méthode du wattmètre. Il est à remarquer que Gumlich et Rose sont arrivés eux aussi au même résultat.

» Il semble donc bien y avoir là quelque chose de systématique, dû, par exemple, à ce fait que la courbe représentant, en fonction de la fréquence, le quotient des pertes par la fréquence, très voisine d'une droite entre les fréquences 25 et 50, commence à s'en écarter notablement au voisinage de l'origine.

» Remarquons maintenant que la méthode ne donne aucun renseignement au sujet de la perméabilité des tôles bien qu'on connaisse l'intensité efficace du courant circulant dans l'enroulement inducteur. Kapp et Sartori ont proposé de considérer comme courant magnétisant maximum, le maximum d'un courant sinusoïdal ayant même intensité efficace que la composante déwattée du courant qui circule dans l'enroulement inducteur.

» Agir ainsi c'est, comme l'a fait remarquer M. Paul Janet ⁽¹⁾, donner de la perméabilité une définition absolument différente de celle qu'on lui donne généralement. Aussi ne doit-on pas être étonné de trouver des résultats tout à fait différents de ceux aux-

(1) *Leçons d'Électrotechnique générale*, t. II, page 197.

quels nous sommes habitués en particulier, de ne pas constater la présence d'un maximum pour la perméabilité.

» Steinmetz ⁽¹⁾ au contraire a considéré comme courant magnétisant maximum le maximum d'un courant sinusoïdal ayant même intensité efficace que le courant qui circule dans l'enroulement inducteur.

» Il suppose bien entendu sinusoïdale la différence de potentiel appliquée aux bornes de l'enroulement inducteur. Si le courant n'était pas déformé, cette manière d'envisager la question correspondrait à la même définition que celle qu'on utilise généralement. Mais le courant est toujours déformé et, par conséquent, on ne fait plus qu'une approximation assez peu rigoureuse, car l'expérience nous a montré qu'en opérant ainsi, on trouve, pour la perméabilité, des valeurs supérieures de 15 p. 100 aux valeurs réelles.

» On peut mesurer la perméabilité de la façon suivante :

» Il suffit d'intercaler en série avec l'ampèremètre un oscillographe et de relever la courbe de l'intensité du courant après avoir mis hors circuit le voltmètre et le fil fin du wattmètre. En étalonnant ensuite le galvanomètre de l'oscillographe, ce qui se fait assez facilement, on peut déduire du cliché ainsi obtenu la valeur maximum du courant qui circule dans l'enroulement inducteur et par suite la perméabilité, quotient de l'induction maximum par le champ magnétisant maximum.

» En opérant ainsi on trouve, dans le voisinage de l'induction 10 000, des valeurs qui semblent indiquer que la perméabilité ainsi mesurée est un peu plus faible que celle que donnent les méthodes balistiques ordinaires. Cette différence est du reste très faible et presque de l'ordre des erreurs d'expérience; elle semble disparaître pour des valeurs plus élevées de l'induction, mais au contraire elle se manifeste assez nettement pour les valeurs plus faibles de l'induction; elle peut atteindre, dans le voisinage de l'induction 5 000, pour une fréquence de 50 périodes par seconde, des valeurs de 6 à 7 p. 100.

» Ceci n'a rien qui puisse nous surprendre. Nous pouvons assimiler notre anneau à un transformateur dans lequel les pertes par courants de Foucault correspondraient aux pertes dans un certain

(1) *Alternating currents phenomena*, 3^e édition, page 113.

circuit secondaire. La diminution de perméabilité que nous venons de constater correspond à l'augmentation de courant dans le primaire du transformateur quand on met le secondaire en charge. L'action est d'ailleurs plus complexe encore par suite du rôle d'écran magnétique que joue la périphérie de la tôle par rapport aux régions intérieures.

» Dans une communication qu'il vous a faite l'année dernière, M. Boucherot ⁽¹⁾, vous a montré comment on pouvait, jusqu'à un certain point, tenir compte de ce phénomène, et il est arrivé à ce résultat que, à même champ magnétisant maximum; le rapport des inductions maxima obtenues en courant continu, pour une tôle d'épaisseur $2h$, est

$$\frac{\mathfrak{B}_a}{\mathfrak{B}_c} = \frac{1}{2bh} \frac{e^{2bh} - e^{-2bh} + 2 \sin 2bh}{e^{2bh} + e^{-2bh} + 2 \cos 2bh}$$

avec

$$b = \sqrt{\frac{2\pi\mu\omega}{\rho}}$$

ρ étant la résistivité, μ la perméabilité de la tôle, ω la pulsation du courant alternatif employé.

» Je vous rappelle que ceci est obtenu en partant de la relation de Maxwell

$$\frac{\partial^2 i}{\partial x^2} = \frac{4\pi\mu}{\rho} \frac{\partial i}{\partial t}$$

i étant la densité du courant induit à une distance x du milieu de la tôle. Cette formule est applicable au cas des circuits fermés que constituent nos anneaux.

Remarquons du reste que les résultats qu'elle fournit ne peuvent être qu'approximatifs, car, dans l'intégration de la formule précédente, on a supposé μ constant. Mais on peut être sûr qu'en donnant à μ , dans ces expressions, sa valeur maximum, on obtiendra une limite inférieure du rapport $\frac{\mathfrak{B}_a}{\mathfrak{B}_c}$ et pourtant, dans les conditions où nous avons opéré, cette limite reste supérieure aux affaiblissements constatés. Gumlich et Rose, qui ont opéré sur des aciers au silicium, (au Laboratoire central d'électricité, nous n'avons opéré que

⁽¹⁾ *Bulletin de la S. I. E.*, avril 1905.

sur des aciers ordinaires), qui ont opéré, dis-je sur des aciers de très grande résistivité, dans lesquels l'action des courants induits est presque négligeable, ont trouvé, même dans ce cas, cet affaiblissement de la perméabilité.

» C'est donc à une autre cause qu'à l'action des courants induits qu'il faut attribuer cet affaiblissement de la perméabilité; cette cause je crois la trouver dans un phénomène dont je vous ai entretenu il y a deux ans ⁽¹⁾, dans le phénomène de la viscosité magnétique. Je dois du reste déclarer que cette opinion est aussi celle qu'ont émise Gumlich et Rose. C'est du reste un sujet sur lequel je compte revenir à la fin de cette communication.

» Examinons maintenant les résultats que nous obtenons par ce nouveau procédé si nous opérons non plus exclusivement à l'induction 10 000, mais à diverses inductions. Comme nous l'avons vu plus haut, en admettant pour ces pertes la formule

$$W = A\mathfrak{B}^{1,6}n + Cn^2 \mathfrak{B}^2$$

et en admettant que le premier terme corresponde uniquement aux pertes par hystérésis et le second aux pertes par courants induits, nous pouvons procéder à une séparation de ces pertes. Occupons-nous des pertes par hystérésis.

» Etant donné ce que nous avons dit plus haut, nous devons tomber sur des conclusions que la méthode balistique nous avait amené à faire. En effet, si nous calculons pour diverses valeurs de l'induction le coefficient de Steinmetz, nous constatons que sur les tôles que nous avons employées et qui sont ce qu'on appelle aujourd'hui de bonnes tôles récemment recuites, ce coefficient n'est pas constant mais croît quand l'induction croît. A ce sujet permettez-moi de vous signaler le fait suivant, il est bien connu aujourd'hui que la formule de Steinmetz qui donne les pertes par hystérésis, par centimètre cube et par cycle

$$W = \tau \mathfrak{B}^{1,6}$$

n'est pas exacte.

⁽¹⁾ *Bulletin de la S. I. E.*, décembre 1904.

» On a signalé pourtant que les pertes par hystérésis pouvaient toujours être représentées avec une approximation suffisante par la formule

$$W = r_1 B$$

x étant variable d'un acier à l'autre et toujours compris entre 1,6 et 1,9.

» L'examen d'un très grand nombre d'essais de tôles, fait au Laboratoire central d'électricité, nous a conduit à la conclusion suivante; pour toutes les tôles, telles que pour l'induction 4 000 on ait

$$W = r_1 (4\ 000)^{1,6}$$

avec

$$r_1 \geq 0,002$$

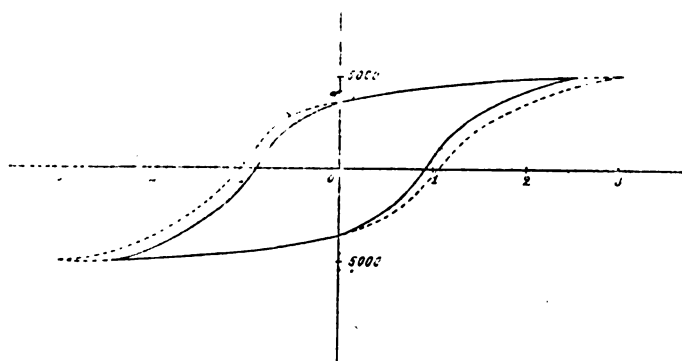


Fig. 5.

la loi de Steinmetz est sensiblement vraie; si au contraire on a

$$r_1 < 0,002$$

le coefficient x a une valeur supérieure à 1,6. Cela tient à ce que toutes ces tôles à faible perte par hystérésis doivent cette propriété au recuit, et l'action du recuit ne se fait sentir qu'aux faibles inductions. La figure 5 montre cette influence. Elle représente le tracé du cycle d'hystérésis pour une même tôle avant et après recuit, avec la même induction maximum 5 000 gauss. On voit que le recuit augmente faiblement la perméabilité, la force coercitive est diminuée et l'intensité d'aimantation rémanente n'est pas altérée.

» Au contraire, à l'induction 16 000 on trouve les mêmes résultats avant et après recuit.

» Le coefficient x qui était de 1,6 avant le recuit devient de 1,9 après le recuit.

» Il est fort probable que cette modification n'est au moins partiellement que passagère, et que ce fait de s'écarter de la loi de Steinmetz pourrait bien être un indice que la tôle est susceptible de vieillir.

» ACTION DES COURANTS DE FOUCAULT. — Passons maintenant à l'action des courants induits. Nos idées théoriques sur ce genre de pertes nous portent à croire que le coefficient C du terme $Cn^2 \mathcal{B}^2$ doit être peu variable avec l'induction.

» Or, on constate au contraire de très grandes variations de ce coefficient avec l'induction entre $\mathcal{B} = 5\,000$ et 11 000.

» De plus, si on cherche à calculer, par une des formules indiquées par les différents auteurs tels que Fleming, Steinmetz, etc., les pertes par courants induits, les résultats ainsi calculés sont bien inférieurs aux résultats donnés par l'expérience. C'est ainsi que cette différence est de près de 40 p. 100 pour l'induction 10 000, de plus de 60 p. 100 pour certaines tôles pour l'induction 5 000.

» Pourtant la manière dont ont été établies les formules utilisées est telle qu'on aurait plutôt dû obtenir des valeurs trop grandes pour les pertes par courants induits. C'est ainsi qu'on prend 10 microhms centimètres pour résistivité du fer, qu'on admet que les courants induits se produisent dans toute la masse de la tôle, etc.

» On pourrait attribuer cette augmentation des pertes par courants induits à un mauvais isolement des tôles entre elles. Certains faits permettent de rejeter cette hypothèse. On trouve par exemple une proportionnalité presque absolue entre ces pertes et le carré de l'épaisseur des tôles.

» Il faut donc en conclure que le terme proportionnel au carré de la fréquence représente d'autres pertes que les pertes par courants induits proprement dits.

» Le phénomène de la viscosité joue là encore son rôle.

» Pour expliquer cette affirmation, nous allons emprunter à

M. Duhem la manière dont il a envisagé la question dans un numéro récent de la *Revue générale des sciences* ⁽¹⁾.

» Considérons le cycle constitué par la courbe obtenue en portant en abscisses les valeurs du champ magnétisant et en ordonnées l'induction, le cycle d'hystérésis par conséquent, si, comme champ magnétisant, nous portons celui que nous déduisons de l'intensité du courant circulant dans l'enroulement, nous avons ce que M. Duhem appelle le cycle connu.

» Pour avoir ce qu'il appelle le cycle complet, le cycle d'hystérésis statique par conséquent, il faudrait tenir compte de ce qu'il appelle le champ de viscosité, c'est-à-dire qu'il faudrait prendre, pour abscisses des points du cycle, non pas la valeur du champ, déduite du courant qui circule dans l'enroulement, mais la somme algébrique de ce champ et d'un autre champ proportionnel à la vitesse de variation de l'induction et de sens contraire.

» Au maximum de l'induction, la vitesse de variation de cette induction est nulle, le champ de viscosité est nul, les deux cycles ont donc leur induction maximum pour une même valeur de l'abscisse.

» On pourrait de même démontrer que ce maximum n'est pas un point de rebroussement pour le cycle connu. Bref, on arrive à voir que le cycle complet est une sorte d'ellipse enveloppant le cycle d'hystérésis statique et qui a sa tangente horizontale au sommet de ce cycle.

» La différence de l'aire des deux cycles représente ce que nous pouvons appeler les pertes par viscosité. Les courants induits viennent ajouter à la viscosité une action tout à fait identique, le champ magnétisant qu'ils produisent étant lui aussi proportionnel à $\frac{d\mathfrak{B}}{dt}$. En réalité du reste, les deux actions (viscosité et courants induits) sont absolument inséparables, puisque, comme j'ai eu l'occasion de vous le faire voir jadis, l'influence de l'épaisseur de l'éprouvette semble être la même pour la viscosité que pour les courants induits.

» C'est même cela qui explique que le coefficient C reste proportionnel au carré de l'épaisseur de la tôle. Bref, la différence entre le

(1) *Revue générale des Sciences*, n° 2, 1906.

cycle connu et le cycle complet (hystérésis statique) représente à la fois les pertes par viscosité et courants induits.

» Nous avons cherché à tracer quelques-uns de ces cycles connus, en relevant, avec un oscillographe étalonné, la courbe de l'intensité du courant dans l'enroulement magnétisant et de la différence de potentiel aux bornes.

» L'équation de la tension instantanée

$$e = ri + nS \frac{d\mathfrak{B}}{dt}$$

permet d'en déduire la courbe $\frac{d\mathfrak{B}}{dt}$, d'où, par intégration, on déduit

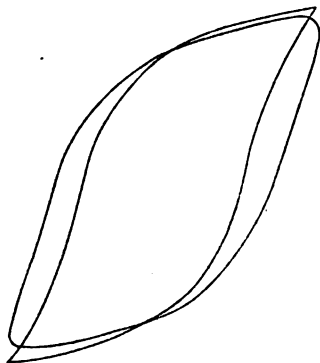


Fig. 6.

la courbe de $\mathfrak{B}$. On peut donc construire le cycle. Au fond, c'est faire avec l'oscillographe ce que Maurain ⁽¹⁾ a fait jadis avec le disque de Joubert.

» La figure 6 représente un de ces cycles obtenu pour l'induction 2 000.

» Malheureusement le choix des tôles n'avait pas été très heureux. Nous avons utilisé des tôles ayant subi un vieillissement artificiel et ceci peut avoir entraîné une notable diminution de la viscosité. Nous avons porté sur la même figure un cycle statique tracé avec le même champ magnétisant maximum. On voit nettement la diminution de la perméabilité et le retard du maximum de l'induction sur le maximum du champ.

⁽¹⁾ MAURAIN, *loc. cit.*

» CONCLUSION. — Que devons-nous conclure de tout ceci. C'est qu'il semble bien qu'au point de vue des pertes dans le fer, la méthode du wattmètre donne des résultats différents, mais plus précis que les méthodes balistiques ordinaires.

» Mais, pour bien caractériser une tôle, il est totalement insuffisant, comme l'ont proposé les électriciens allemands de déterminer les pertes totales pour une induction et pour une fréquence données. Une étude plus complète est nécessaire. Au point de vue de la perméabilité, au contraire, les méthodes balistiques sont plus précises.

» Il résulte bien je crois, de ce que j'ai dit, que cette méthode est une méthode délicate, nécessitant de nombreuses corrections, un alternateur produisant une différence de potentiel de forme bien déterminée et bien connue. Il ne semble donc pas qu'elle soit d'une réalisation aussi facile que semblent l'avoir cru ceux qui l'on préconisé tout d'abord, et, malgré les renseignements plus précis qu'elle fournit, je crains qu'elle n'arrive pas à détrôner de si tôt la méthode balistique. »

M. le PRÉSIDENT remercie M. Jouaust pour sa très intéressante communication.

DISCUSSION DE LA COMMUNICATION DE M. DE MARCHENA

M. BRYLINSKI. — « Je désire, Messieurs, ajouter quelques mots à l'intéressante communication que nous a faite M. de Marchena à la dernière séance, non pour y apporter des critiques, mais dans le but d'ouvrir, si possible, une discussion sur ce travail, qui me paraît le mériter. Je crois, en effet, que, d'une façon générale, nous nous abstenons un peu trop de discuter les communications qui nous sont présentées, et qu'il serait souvent intéressant pour tous, surtout quand il s'agit d'un sujet aussi important et aussi bien étudié que celui que nous apporté M. de Marchena, de compléter les idées de l'auteur et les faits qu'il a coordonnés par les observations de ceux de nos collègues qui ont également des idées sur le même sujet.

» Si je me permets d'ouvrir la discussion, c'est que je suis probablement un des premiers à avoir soutenu qu'il y avait lieu de pousser l'étude des câbles souterrains à haute tension, au lieu de se reposer sur le mol oreiller des lignes aériennes. Vous avez trouvé un reflet de ces idées dans la discussion sur les surtensions, qui a eu lieu il y a deux ans ⁽¹⁾.

» Je désirerais aujourd'hui insister un peu sur trois points de la remarquable communication de M. de Marchena : la question de l'enveloppe isolante autour des trois âmes ⁽²⁾, la question du coefficient de sécurité à adopter contre les surtensions, et les inconvénients du courant de charge sur les longs câbles.

» I. — Je suis tout à fait d'accord avec M. de Marchena, sur les inconvénients de l'enveloppe isolante supplémentaire, et cela pour une raison purement pratique, c'est que, s'il se produit un défaut sur le câble, il y a intérêt à ce qu'il se voie au dehors.

⁽¹⁾ Voir *Bulletin*, t. IV (2^e série), n^o 36, juin 1904, p. 400.

⁽²⁾ Le mot *âme* est employé souvent dans des sens différents. Afin d'éviter tout malentendu, je préciserai que j'entends par *âme* le conducteur revêtu de son isolement propre. Un câble triphasé cordé se composera donc de trois âmes, entourées ou non d'une couche isolante commune, le tout revêtu d'une ou plusieurs chemises de plomb, etc.

» Je reconnais, bien volontiers, que je n'ai pas toujours été de cet avis, et que j'ai salué tout d'abord l'apparition de l'enveloppe isolante supplémentaire comme un progrès dans la construction des câbles; mais la cause en était, qu'on n'employait pas à ce moment la mise à la terre du point neutre. Les conducteurs étaient donc exposés à prendre accidentellement par rapport au plomb des tensions bien supérieures à la normale, contre lesquelles il était nécessaire de les protéger.

» J'ai eu depuis lors, dans un voyage en province, l'occasion de voir des câbles de haute tension dans lesquels deux conducteurs s'étaient mis en court-circuit sans qu'il y en eût la moindre trace sur l'enveloppe extérieure du câble. Il est bien évident qu'un défaut de cette sorte est particulièrement difficile à retrouver et de nature, par conséquent, à causer des embarras à une exploitation. Aussi suis-je d'accord avec M. de Marchena, pour penser qu'il est préférable de mettre un point neutre à la terre (un seul pour éviter des courants de circulation à distance) et de construire les câbles de façon que les défauts se produisent au moins aussi facilement entre conducteur et plomb qu'entre deux conducteurs.

» J'ajouterai qu'il y a intérêt à ce que le plomb soit franchement à la terre sur toute sa longueur, afin de ne pas risquer de trouver un défaut sur l'armure de fer à distance de l'endroit où il se trouve dans le plomb.

» II. — Vous vous rappellerez sans doute qu'il y a deux ans déjà ⁽¹⁾, réagissant contre l'idée d'appliquer aux hautes tensions des coefficients de sécurité qui me paraissaient excessifs, j'avais proposé d'essayer les câbles de très haute tension (c'est-à-dire des tensions dont s'est occupé M. de Marchena), en leur appliquant la tension de service augmentée d'une tension fixe.

» L'an dernier, partant de la formule bien connue

$$E = I \sqrt{\frac{L}{C}}$$

j'avais établi que la surtension de rupture de circuit devait tendre à devenir constante lorsque la tension de service devenait suffisam-

(1) Voir *Bulletin*, t. IV (2^e série), n° 36, juin 1904, p. 401.

ment élevée. Il est vrai que cette remarque incidente n'a pas été publiée, par suite de circonstances particulières; je n'en suis que plus heureux de voir un ingénieur aussi autorisé que M. de Marchena, nous apporter de son côté, tout à fait indépendamment, la démonstration de cette proposition. Je suis entièrement d'accord avec M. de Marchena qu'il est très mauvais pour l'existence d'un câble, de le soumettre à des tensions exagérées, et je crois qu'il y aurait lieu de reprendre de fond en comble la question des conditions d'essais à exiger pour les câbles de haute tension.

» Il faut bien reconnaître que les éléments de direction dans l'étude de cette question sont encore très rares et probablement insuffisants. Des essais d'exploitation, tels que ceux dont nous a entretenus M. de Marchena, sont de nature à la faire progresser sensiblement, au grand profit de tous.

» III. — Je suis bien d'accord avec M. de Marchena sur ce point que le courant de charge est le principal obstacle à l'emploi des longs câbles souterrains. J'ai d'ailleurs déjà signalé ce point il y a deux ans ⁽¹⁾ et indiqué brièvement le parti qu'on pouvait tirer de réactances supplémentaires réparties sur le câble. J'ajouterai seulement, en ce qui concerne le détail, qu'il serait facile de modifier ces réactances suivant la valeur et le décalage du courant du câble, maintenant que l'on possède des relais wattmétriques ⁽²⁾ permettant d'établir des contacts lorsque la charge réactive, soit en avant, soit en arrière, prend une valeur déterminée.

» Il est cependant évident que la réduction du courant de charge à une très faible valeur obligerait à des installations coûteuses, aussi me paraît-il intéressant d'attirer un peu l'attention sur cette question.

» Le courant de charge peut être examiné, en ce qui concerne ses effets, à deux points de vue très différents : le câble et l'alternateur.

⁽¹⁾ Voir *Bulletin*, t. IV (2^e série), n^o 36, juin 1904, pp. 403 à 406.

⁽²⁾ Je désigne sous le nom de *relais wattmétriques* non-seulement ceux qui sont commandés par des wattmètres proprement dits, mais tous les relais commandés par un appareil fonctionnant d'après la puissance active, la puissance réactive ou une combinaison quelconque de ces deux sortes de puissances.

» IV. — En ce qui concerne le câble lui-même, il est bien évident que le courant de charge ne doit pas dépasser l'intensité que peut supporter normalement le câble. Dans le cas contraire, on aurait recours aux procédés indiqués ci-dessus. Mais il n'est pas nécessaire, dans la plupart des cas, qu'il soit maintenu beaucoup au-dessous de cette valeur, comme je vais le montrer, et ceci nous laisse une grande marge pour l'emploi des câbles, étant donné qu'on admet aujourd'hui de fortes densités de courant.

» Supposons, en effet, qu'un câble de 3×50 soit desservi par un alternateur de fréquence 25, sous une tension composée E , que sa capacité soit $0,1$ par km et sa longueur de l kilomètres, et que le câble supporte sans inconvénient 120 ampères par phase. Le courant maximum de charge sera

$$I_0 = 120 = 0,2 \cdot 10^{-6} l \frac{E}{\sqrt{3}} \times 50 \pi = \frac{\pi \cdot 10^{-5}}{\sqrt{3}} El$$

soit

$$El = \frac{120 \times 10^5 \times \sqrt{3}}{\pi} = 66 \cdot 10^5$$

Ce qui donne pour 10 000 volts une longueur possible de 660 kilom.

—	20 000	—	—	330	—
—	30 000	—	—	220	—
—	40 000	—	—	165	—

» On voit donc qu'il y a de la marge par rapport à ce qui a été fait jusqu'à présent.

» Voyons maintenant pourquoi on peut admettre en général, en ne considérant que le point de vue du câble, un courant de charge aussi élevé.

» J'ai montré l'an dernier⁽¹⁾ que le courant au départ était la résultante géométrique du courant de charge et du courant pris par le réseau d'utilisation, ce dernier étant ramené au départ au moyen d'une transformation simple, qui laisse l'angle de décalage dans le même quadrant. Or, tous les réseaux comportent une charge réactive en arrière plus ou moins importante par rapport à la charge active. Lorsqu'il n'y a que des lampes à incandescence, cette charge réactive devient relativement petite au moment du maxi-

(1) Voir *Bulletin*, t. V (2^e série), n° 43, mars 1905, pp. 195 à 197.

mum d'emploi. Mais dès que la charge baisse, ou pour peu qu'il y ait en service des moteurs, la puissance réactive en arrière arrive bien vite à égaler ⁽¹⁾ et à dépasser la puissance active.

» Si dès lors

$$I_0 \cos \omega t$$

est le courant de charge,

$$I_1 \sin (\omega t - \alpha)$$

le courant d'utilisation du réseau, ramené au départ, et

$$I \sin (\omega t - \varphi)$$

le courant résultant au départ, on a

$$\operatorname{tg} \varphi = \operatorname{tg} \alpha - \frac{I_0}{I_1 \cos \alpha}$$

et

$$I^2 = I_1^2 + I_0^2 - 2I_1 I_0 \sin \alpha.$$

D'où l'on tire, en ne conservant que le signe valable du radical,

$$I_1 = I_0 \sin \alpha + \sqrt{I^2 - I_0^2 \cos^2 \alpha}$$

Si I et I_0 sont tous deux le courant maximum que peut normalement supporter le câble, on a très simplement

$$I_1 = 2I_0 \sin \alpha$$

c'est-à-dire que, pour peu que l'on ait

$$\sin \alpha \geq \frac{1}{2}$$

ou

$$\cos \alpha \leq 0,866$$

on pourra employer un courant utilisable au départ *au moins égal* au courant normal que pourra supporter le câble.

» Si $\cos \alpha$ monte au-dessus de 0.866, il faudra consentir à perdre quelque chose sur I_1 et à se restreindre un peu sur I_0 , mais les concessions à faire sont bien moindres qu'on pourrait le croire.

» Supposons en effet la charge réactive du réseau tout à fait nulle, cas extrême qu'il est impossible de réaliser, à moins d'avoir des

(1) Ceci à lieu pour $\cos \varphi = 0,707$, valeur souvent atteinte.

moteurs synchrones surexcités, et dans ce cas on aurait intérêt à les sousexciter, on aura alors

$$I_0^2 = I^2 - I_1^2$$

et si on prend

$$I_1 = 0,9 I$$

c'est-à-dire qu'on consente une perte de 10 p. 100 seulement sur le courant que peut supporter le câble, il vient

$$I_0^2 = 0,19 I^2$$

et par conséquent

$$I_0 = 0,44 I$$

Ainsi même dans ce cas extrême, on pourrait admettre un courant de charge égal à peu près à la moitié du courant normal du câble.

» Il faudrait bien entendu, dans un cas pratique, approfondir ces calculs qui sont des calculs *en local*; les coefficients seraient peut-être modifiés, mais le sens du raisonnement subsisterait et prouve que, si l'on considère le câble seul, on ne doit pas s'exagérer les obstacles provenant du courant de charge.

» V. — Il n'en est peut-être pas de même si l'on envisage l'alternateur, car le courant réactif en avance le surexcite.

» Pour un décalage du réseau seul, on a

$$\operatorname{tg} \varphi = - \frac{I_0}{I_1}$$

et par conséquent un courant réactif décalé en avant, dont le décalage diminue à mesure que I_1 augmente. Lorsque le réseau prend du décalage en arrière, le décalage en avant du courant au départ diminue également; il s'annulerait complètement pour

$$I_1 = \frac{I_0}{\sin \alpha}$$

et deviendrait du décalage en arrière si I_1 dépassait cette valeur, ce qui est possible lorsque I_0 est inférieur au courant normal du câble et α pas trop petit.

» Il résulterait de là des variations de tension qu'il pourrait être difficile de composer lorsqu'on doit régler l'excitation à la main.

» Mais il peut en être autrement lorsque l'alternateur est compound et l'étude de compoundage d'un alternateur parcouru en permanence par un fort courant réactif en avant, avec superposition d'un courant variable purement actif ou réactif en arrière me paraît un problème intéressant que je prends la liberté de recommander à la sollicitude de nos collègues de la première section. Il me semble que la solution complète de ce problème constituerait un nouveau et sérieux pas en avant dans la voie de l'utilisation des longs câbles souterrains à haute tension. »

M. GROSSELIN : « Je désirerais présenter, au point de vue purement pratique, quelques observations sur les diverses questions abordées par M. Brylinski.

» 1°. ÉPAISSEUR D'ISOLANT ENTRE CONDUCTEURS ET TERRE. — Il est certain qu'il n'y a aucun intérêt à laisser le neutre d'un réseau séparé de la terre.

» Il y a au contraire tout avantage à ce qu'une terre survenant accidentellement en un point quelconque d'un des conducteurs se manifeste immédiatement par un court-circuit déclanchant un disjoncteur, ce qui se produira au cas de mise à la terre du neutre.

» Dans un réseau avec point neutre à la terre, l'isolant extérieur travaille sous un potentiel moitié moindre que l'isolant entre phases. Il y a donc intérêt à réduire l'épaisseur de cet isolant pour diminuer le prix de revient et augmenter la maniabilité du câble.

» On trouvera à cette diminution de l'isolant extérieur l'avantage accessoire que signale M. Brylinski de voir tout court-circuit entre phases accompagné d'une terre, facilement déterminable, sur l'un au moins des conducteurs.

» Toutefois, il ne faudrait pas aller trop loin dans cette voie, l'expérience ayant montré que, avec un isolant extérieur trop faible, une terre pouvait se produire lors de l'essai à haute tension entre phases.

» La conclusion pratique à adopter me paraît être de réduire le chiffre de la tension d'essai entre phases et terre aux deux tiers du chiffre admis pour l'essai entre phases.

» 2°. MISE A LA TERRE PARFAITE DU PLOMB. — L'accident signalé par M. Brylinski, dans lequel les points de brûlure du feuillard et du plomb étaient séparés d'une dizaine de mètres, me paraît devoir rester exceptionnel.

» En fait, dans un réseau bien établi, le plomb des câbles est à la terre comme le feuillard.

» Le serrage des manchons de raccordement est fait directement sur le plomb des câbles, et la surface extérieure de ces manchons constitue une mise à la terre pour le moins aussi parfaite que la surface du feuillard, entouré de toile ou de filin goudronnés.

» 3°. COEFFICIENTS DE SÉCURITÉ. — L'expérience a montré que le coefficient de sécurité deux, pour les essais à l'usine, était souvent insuffisant pour assurer la sécurité d'exploitation d'un réseau, même muni de limiteurs, aux tensions inférieures à 20 000 volts. Le coefficient trois, au contraire, a paru donner jusqu'ici une sécurité absolue. Il serait très intéressant, si des observations contraires ont été faites, qu'elles fussent apportées ici.

» Sous réserve de ces observations éventuelles, j'estime donc que l'on doit s'en tenir au coefficient trois.

» Au delà de 20 000 volts, je reconnais que l'adoption de ce coefficient entraîne à des tensions d'essai très élevées, de nature à augmenter, inutilement peut-être, le prix des câbles et les difficultés d'essai.

» Mais les calculs présentés et d'après lesquels les surtensions pour les très hautes tensions, resteraient à peu près constantes au-dessus de la tension maximum atteinte en service, n'ont pas encore reçu de sanction expérimentale.

» Comme l'on ne tire d'un calcul que ce que l'on y a mis, il est permis de se montrer réservé jusqu'à ce que des expériences industrielles, faites sur de longues lignes, pendant un temps suffisant, à des tensions supérieures à 20 000 volts, aient montré qu'aucun phénomène nouveau ou simplement oublié, ne relève les surtensions au-dessus de leur valeur théorique.

» En d'autres termes, il me paraît que des câbles pour tensions supérieures à 20 000 volts doivent être construits, jusqu'à plus ample informé, au moins avec le coefficient deux ou deux et demi.

» L'on devrait plutôt tenter de réduire la durée de l'essai. En effet, le travail souvent considérable dépensé dans l'isolant arrive à faire sauter au triple, au bout d'une demi-heure ou de trois quarts d'heure, un câble qui aurait parfaitement tenu pendant quelques fractions de seconde une surtension du triple ou du quadruple.

» M. Brylinski m'a objecté que l'échauffement du câble par la prolongation de l'essai avait pour avantage de placer le câble dans des conditions normales d'échauffement par effet Joule en pleine charge.

» Mais il faudrait démontrer que l'effet sur l'isolant de l'échauffement par effet Joule et de l'échauffement par hystérésis est le même.

» Cela ne paraît pas évident *a priori*, puisque, dans le second cas, l'isolant est soumis à un travail intérieur anormal, qui n'existe pas dans le premier.

» Cela ne paraît pas, non plus confirmé par les expériences de M. Jona, de la maison Pirelli.

» Celui-ci n'a trouvé entre 55° et 85° aucune différence des courbes de rigidité relevées pour la paraffine fondue, de 10 000 à 16 000 volts, l'élévation de température étant obtenue par conduction.

» Il n'en a pas trouvé non plus, pour les câbles en papier, entre 0° et 100°, dans les mêmes conditions.

» Ce n'est donc pas l'élévation de température seule qui agit sur l'isolant.

» Le claquage d'un câble en essai prolongé peut se prévoir presque à coup sûr, quelquefois une demi-heure à l'avance, par le tremblement de l'aiguille de l'ampéremètre placé sur le circuit basse tension du transformateur d'essai.

» Ces tremblements paraissent correspondre au passage d'effluves dans l'isolant, lesquelles ne deviennent réellement dangereuses que par leur répétition toujours au même point. Si l'essai était arrêté au moment, où le premier tremblement de l'aiguille se produit, il me paraît infiniment probable que le câble pourrait assurer, en exploitation, un excellent service.

» Comme conclusion, je crois que M. de Marchena a parfaitement raison de préconiser une très faible durée pour l'essai à la tension maxima.

» Actuellement, on pousse au quadruple, pendant une minute, l'essai des câbles pour tensions moyennes, c'est-à-dire de 10 à 20.000 volts.

» Pour les très hautes tensions, il faudra probablement se contenter du triple pour l'essai en pointe pendant la même durée, jusqu'à ce qu'une expérience prolongée et portant sur une grande longueur ait montré que l'on peut abaisser la tension d'épreuve.

» Sommes-nous outillés pour effectuer ces essais au triple à toutes les tensions utilisables actuellement ?

» Pour essayer un câble de 50 000 volts on sera amené à développer une tension de 150 000 volts. Nous avons vu un transformateur fonctionner à cette tension aux ateliers de Vaugirard de la C^{ie} Thomson, et M. de Marchena ne me démentira pas, je pense, si je rappelle qu'en Amérique on a construit des transformateurs donnant 300 000 volts, permettant, par conséquent, d'essayer au coefficient trois des câbles fabriqués pour 100 000 volts.

» C'est donc aux fabricants qu'il appartient de livrer pour un prix abordable, des câbles supportant cette tension.

» Il est d'autant plus important d'obtenir ce résultat que, au-delà de 60 000 volts, du moins dans nos climats, il paraît impossible de faire fonctionner convenablement une ligne aérienne, et que pour les transports à très grande distance dont on commence à rêver, il semble bien que l'on doive monter à des tensions voisines de 100 000 volts pour réduire à une valeur admissible la perte en ligne.

» Les chiffres que M. de Marchena nous a cités pour la résistance à la rupture des câbles actuellement fabriqués, sont de nature à faire espérer prochainement d'heureux résultats dans ce sens.

» 4°. COURANT DE CHARGE. — C'est la question du courant de charge qui, avec celle de l'élévation du prix du câble, a arrêté jusqu'ici ceux qui tentaient l'établissement des lignes de transports souterraines à très haute tension.

» Elle me paraît devoir se poser dans la suite, de manière d'autant plus pressante, que c'est avec des isolants de très faible épaisseur que l'on atteindra vraisemblablement les résistances aux très hautes tensions. De fortes épaisseurs rendent en effet très difficile

l'obtention de l'homogénéité nécessaire pour une rigidité diélectrique satisfaisante.

» Les chiffres cités par M. Brylinski pour les capacités kilométriques seront sans doute au-dessous de la réalité et les courants de charge plus intenses qu'il ne le suppose.

» Il y a donc un grand intérêt à vérifier le plus tôt possible, si ces courants de charge sont aussi nuisibles qu'on paraît le croire et à aviser aux moyens de les supprimer.

» Je me joins à M. Brylinski pour exprimer le vœu que la 1^{re} Section se saisisse de la question. »

M. BOUCHEROT. — « Je me permets de répondre de suite à la demande que M. Brylinski a adressée à la première section.

» Il n'est pas douteux que lorsqu'un procédé de compoundage physique donne *réellement* satisfaction dans les conditions ordinaires de la pratique, c'est-à-dire maintient la tension de l'alternateur constante quel que soit son débit déwatté sur circuits inductifs, il n'est pas douteux, dis-je, que ce même procédé donne encore satisfaction lorsque le débit déwatté change de signe. Au point de vue théorique, les calculs sont toujours faits sans aucune hypothèse sur le signe de sinus π . J'ai, d'autre part, constaté expérimentalement qu'il en est bien ainsi, dans diverses circonstances, non pas sur des réseaux à grande capacité, mais dans des conditions telles que la nature du courant déwatté n'était pas douteuse. Il y a dans ce cas quelques précautions supplémentaires à prendre sur la nature desquelles il est inutile d'insister ici.

» J'ai une préoccupation plus grave de l'existence des grandes capacités dans les réseaux, en ce qui concerne la marche en parallèle des alternateurs.

» J'ai déjà eu l'occasion de vous dire que lorsque deux alternateurs sont en parallèle, le débit watté n'a qu'une influence négligeable sur le fonctionnement, tandis que le débit déwatté a une grande influence. Si la puissance magnétisante débitée est positive (débit sur circuits inductifs), les couples synchronisants, ou couples élastiques, des alternateurs se trouvent augmentés; si elle est négative (débit sur capacité) ils sont diminués. Cela provient tout

simplement de ce que, pour maintenir la tension constante aux bornes, ce qui est nécessaire dans une distribution, il faut augmenter l'excitation des alternateurs dans le premier cas, la diminuer dans le second, cela, soit à la main, soit de tout autre manière.

» Or, on peut se rendre compte facilement de la diminution des couples synchronisants dans l'hypothèse du plein débit sur capacité déjà envisagée par M. Brylinski.

» On trouve alors que pour des alternateurs donnant en court-circuit 4 fois le courant normal, avec l'excitation de la marche à vide, la diminution des couples élastiques est de 30 p. 100 environ; dans ce cas le mal n'est pas grand. Mais pour des alternateurs ne donnant en court-circuit que le courant normal les couples élastiques tombent à zéro : impossibilité de fonctionner,

» La conclusion est bien nette, on ne peut employer dans ces conditions que des alternateurs à très faible réaction, avec leur cortège d'inconvénients : prix élevés, volants lourds, oscillations par le régulateur, etc...

» Je n'étais pas présent à notre dernière séance, et, le bulletin n'étant pas encore distribué, je ne sais si M. de Marchena a envisagé cette question dans sa communication; vous voudrez bien m'excuser si mon observation fait double emploi. »

M. le PRÉSIDENT remercie M. Brylinski et les orateurs qui ont bien voulu prendre part à cette intéressante discussion.

La séance est levée à 10 heures du soir.

BULLETIN
DE LA
SOCIÉTÉ INTERNATIONALE
DES
ÉLECTRICIENS

SOMMAIRE

Admission de membres titulaires, p. 254. — Don à l'École, p. 254. — Sur la résistance des conducteurs en courant variable (M. Brylinski), p. 255. — Sur les alliages magnétiques du manganèse (M. Ch.-Ed. Guillaume), p. 301. — Appareil de commande à distance par les ondes hertziennes (M. Devaux), p. 309. — Ouvrages offerts (*suite*), p. 315.

COMPTE RENDU

DE LA

RÉUNION ORDINAIRE MENSUELLE

du mercredi 6 juin 1906 ⁽¹⁾.

PRÉSIDENCE DE M. GROSSELIN, Vice-Président.

La séance est ouverte à 8 h. 40 du soir :

Le procès-verbal de la dernière réunion mensuelle est adopté.

Il est donné connaissance des ouvrages offerts pour la Biblio-

(¹) La Société n'est pas solidaire des opinions émises par ses membres dans les discussions, ni responsable des Notes ou Mémoires publiés dans le *Bulletin*.

thèque, d'un don pour l'Ecole et des demandes d'admission suivantes :

MM.

CANART (Léon-Jules-Auguste), Ingénieur à l'*Electro-Matériel*, 26, rue Montpensier, à Paris. — Présenté par MM. Duval et de Tobiansky d'Altoff.

DESNOS (Henri), Chef du Service des Installations de la maison Bréguet, 240, rue de Vaugirard, à Paris. — Présenté par MM. Brunswick et Jouvenel.

FORSTALL (Marie-Georges), Ingénieur de la *Société Anonyme Westinghouse*, 118, boulevard de Strasbourg, au Havre (Seine-Inférieure). — Présenté par MM. Blondel et Mauduit.

SMITH (Juan-Tomás), Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées de la République de l'Uruguay, 1 bis, rue d'Offémont, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Picou.

STEINMANN (Henri-Léon), Ingénieur Electricien de la *Société des Houillères de Ronchamp*, à Ronchamp (Haute-Saône). — Présenté par MM. Chedeville et Lebon.

Ces candidats sont élus membres titulaires de la Société Internationale des Electriciens.

M. le PRÉSIDENT fait part du décès de MM. BISCHOFFSHEIM, dont il rappelle les titres à la reconnaissance du monde savant, et LESOURD; il en exprime les regrets de la Société.

Des remerciements sont adressés à l'auteur du don suivant :

COMPAGNIE GÉNÉRALE D'ELECTRICITÉ DE CREIL . . . Huit porte-balais nouveau modèle.

L'ordre du jour appelle les communications techniques.

SUR LA RÉSISTANCE DES CONDUCTEURS EN COURANT VARIABLE

M. BRYLINSKI. — « Il y a longtemps que Lord Kelvin et d'autres auteurs ont donné la solution complète de cette question dans le cas d'un conducteur cylindrique et de courants périodiques simples ; j'ai eu moi-même occasion de m'en occuper autrefois.

» L'étude des problèmes de télégraphie sans fil a ramené l'attention sur ces phénomènes et il paraît intéressant d'étendre les solutions acquises à quelques cas un peu moins simples, par exemple aux oscillations complexes, et aux courants amortis. Mais, pour l'intelligence de cette étude, il ne sera pas inutile de rappeler très brièvement les faits connus.

» I. — On emploie le plus souvent en courant variable la formule simple

$$E = RI + L \frac{dI}{dt}.$$

» Maxwell a montré que cette formule ne s'appliquait en toute rigueur qu'à un conducteur de dimensions transversales nulles et que la formule complète pouvait se mettre sous la forme

$$E = RI + L \frac{dI}{dt} + X_2 \frac{d^2 I}{dt^2} + X_3 \frac{d^3 I}{dt^3} + \dots + X_n \frac{d^n I}{dt^n} + \dots$$

» Lorsque le courant est tel que toutes les dérivées par rapport au temps puissent s'exprimer en fonction linéaire de I et $\frac{dI}{dt}$, cette formule se ramène simplement à l'équation

$$E = R_1 I + L_1 \frac{dI}{dt}$$

qui a la même forme que l'équation habituelle mais dans lesquelles la *résistance effective* R_1 et la *self-inductance effective* L_1 ont des valeurs différentes de R et de L .

» Quand il s'agit en particulier d'un courant sinusoïdal de pulsation ω , on a

$$\begin{aligned} \frac{d^{2n} I}{dt^{2n}} &= (-1)^n \omega^{2n} I \\ \frac{d^{2n+1} I}{dt^{2n+1}} &= (-1)^n \omega^{2n} \frac{dI}{dt} \end{aligned}$$

et par conséquent une résistance et une self-inductance effectives bien déterminées.

» Supposons qu'il s'agisse d'un conducteur cylindrique de résistivité ρ , de perméabilité μ supposée constante, de rayon a , dont nous considérons une longueur l séparant deux surfaces équipotentiellles, et parcouru par un courant sinusoïdal de pulsation ω .

» On est amené à prendre une variable auxiliaire

$$\alpha = \frac{\mu \pi a^2 \omega}{\rho}$$

et si on désigne par A et B les deux séries infinies convergentes

$$A = \sum_0^{\infty} \frac{(-1)^n \alpha^{2n+1}}{(2n)! (2n+1)!}$$

$$B = \sum_0^{\infty} \frac{(-1)^n \alpha^{2n+2}}{(2n+1)! (2n+2)!}$$

on trouve les valeurs respectives

$$R_1 = \frac{R\alpha}{2} \frac{d}{d\alpha} \left[\log. (A^2 + B^2) \right]$$

$$L_1 = L - \mu l \left[\frac{1}{2} + \frac{d}{d\alpha} \arctg \frac{A}{B} \right].$$

» Ces deux formules se trouvent assez difficiles à discuter. On peut heureusement, au moins en ce qui concerne la résistance, les ramener à une table construite par Lord Kelvin, et tracer une courbe en portant en abscisses les valeurs de

$$x = 2\sqrt{\alpha}$$

et en ordonnées les valeurs de

$$y = \frac{R_1}{R}.$$

» On constate ainsi (*fig. 1*) que pour les valeurs de x comprises entre 0 et 1, on a sensiblement

$$y = 1.$$

» Pour les valeurs de x égales ou supérieures à 3, la courbe est presque confondue avec la droite

$$y = \frac{x \sqrt{2} + 1}{4} .$$

» Pour les valeurs de x comprises entre 1 et 3, on trouve un arc de courbe de raccordement qui se représente suffisamment bien par l'expression du second degré

$$y = 0,0788 x^2 - 0,1559 x + 1,0771 .$$

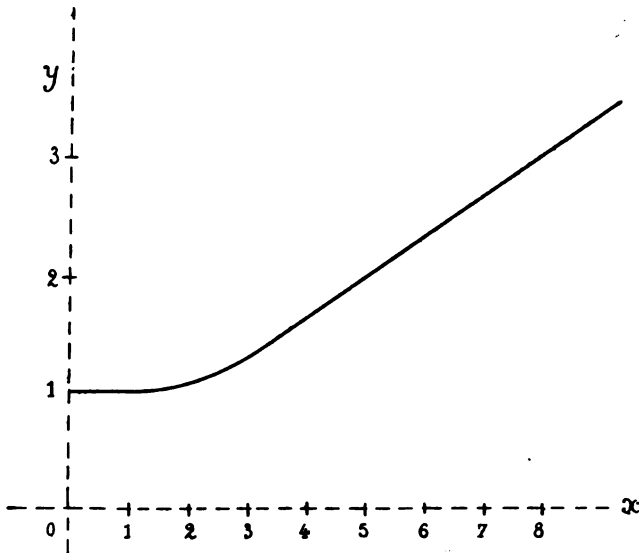


Fig. 1.

» Ce qui est intéressant, ce sont les valeurs pour lesquelles il y a une augmentation notable de résistance. Retenons principalement de ceci que, dès que α est égal ou supérieur à 2,25, on peut écrire

$$y = \frac{2 \sqrt{2} \alpha + 1}{4} .$$

» II. *Oscillation complexe.* — Supposons que l'oscillation soit la superposition de p courants dont l'un aura pour pulsation $p\omega$ et pour intensité efficace I_p .

» L'énergie transformée en chaleur par effet Joule dans l'unité de temps sera

$$\Sigma R y_p I_p^2$$

en désignant par R la résistance déduite de la loi d'Ohm et par y_p le coefficient de variation de cette résistance sous l'effet de la périodicité du courant, pour l'harmonique p , et l'intensité efficace mesurée sera $\sqrt{\Sigma I_p^2}$, de sorte que la mesure donnera un coefficient moyen dont la valeur sera

$$y = \frac{\Sigma y_p I_p^2}{\Sigma I_p^2}$$

au lieu de y_1 qu'on croirait devoir obtenir si on ne tenait compte que de l'oscillation de pulsation ω .

» Il peut être intéressant de voir ce que donne cette formule dans deux cas particuliers :

» 1^{re} Cas. — L'onde fondamentale qu'on excite est accompagnée d'un cortège d'harmoniques supérieurs tels que

$$I_p = \frac{I_1}{p}.$$

» On a dès lors

$$y = \frac{\Sigma \frac{y_p}{p^2}}{\Sigma \frac{1}{p^2}}.$$

» Si on peut, comme nous venons de le voir, mettre y_p sous la forme

$$y_p = \frac{1 + 2\sqrt{2p\alpha}}{4}$$

où α se rapporte à la pulsation fondamentale, on aura

$$y = \frac{\frac{1}{4} \Sigma \frac{1}{p^2} + \frac{1}{\sqrt{2}} \Sigma \frac{1}{p} \sqrt{\frac{\alpha}{p}}}{\Sigma \frac{1}{p^2}} = \frac{1}{4} + \sqrt{\frac{\alpha}{2}} \frac{\Sigma p^{-\frac{3}{2}}}{\Sigma p^{-2}}$$

au lieu de

$$y_1 = \frac{1}{4} + \sqrt{\frac{\alpha}{2}}.$$

» Supposons, par exemple, que p prenne les valeurs 1, 3, 5 et 7, nous aurons

$$y = \frac{1}{4} + \sqrt{\frac{\alpha}{2}} \times \frac{1,33}{1,17} = \frac{1}{4} + 1,14 \sqrt{\frac{\alpha}{2}}.$$

» Si α est assez grand pour qu'on puisse négliger le terme $\frac{1}{4}$ sans erreur exagérée, on aura simplement

$$\frac{y}{y_1} = 1,14.$$

» Ainsi, dans ce cas, le y mesuré serait toujours plus grand que y_1 , irait en croissant avec la variable auxiliaire α plus vite que y_1 , et atteindrait rapidement la limite $1,14 y_1$.

« Si une cause d'erreur quelconque donnait systématiquement des valeurs mesurées de y légèrement trop petites, le résultat des essais pourrait être d'obtenir une valeur de l'accroissement d'abord plus faible que ne l'indique la théorie en apparence, puis allant progressivement en croissant jusqu'à dépasser cet accroissement théorique supposé.

» En général les harmoniques seront plutôt plus faibles que dans l'exemple choisi, mais aussi plus nombreux. Or l'accroissement de ce nombre aura pour résultat d'augmenter plus rapidement le numérateur que le dénominateur, et par conséquent le rapport de y à y_1 .

» L'erreur de 14 pour 100, à laquelle j'étais parvenu dans l'exemple ci-dessus, doit donc pouvoir être atteinte assez facilement dans la pratique.

» 2^e Cas. — En télégraphie sans fil, l'onde fondamentale se compose fréquemment de deux ondes de fréquence plus ou moins voisines suivant l'accouplement des circuits.

» On aura

$$y = \frac{y_1 I_1^2 + y_2 I_2^2}{I_1^2 + I_2^2}.$$

» Supposons, pour simplifier, et bien qu'il n'en soit pas généralement ainsi, que les deux intensités efficaces soient égales et les harmoniques négligeables; il viendra

$$\frac{y_1 + y_2}{2}.$$

et on voit que, si les fréquences sont suffisamment différentes, on aura une erreur notable en prenant y_1 ou y_2 au lieu de y .

» Dans le cas où on peut adopter pour les y la formule simplifiée, on aura simplement

$$\frac{y}{y_1} = \frac{1 + \sqrt{2} \alpha_1 + \sqrt{2} \alpha_2}{1 + 2 \sqrt{2} \alpha_1} = 1 + \frac{\sqrt{2\alpha_2} - \sqrt{2\alpha_1}}{1 + 2 \sqrt{2} \alpha_1}.$$

qui peut différer notablement de l'unité.

» Si par exemple ω_2 est égal à $3 \omega_1$, on aura sensiblement

$$y = y_1 \left[1 + \frac{\sqrt{\alpha_1}}{1 + 2 \sqrt{2\alpha_1}} \right]$$

valeur qui, lorsque α_1 croît, tend vers la limite

$$1,36 y_1.$$

» III. *Courant périodique amorti.* — Ce cas est extrêmement intéressant parce que c'est celui qui se présente le plus souvent dans la pratique, et qu'il comprend, comme cas particuliers, d'une part le cas des courants périodiques, qui fournira des vérifications et des points de repère en cours de route, et d'autre part le cas de la décharge purement apériodique, qu'il est cependant plus simple de traiter directement.

» Reprenons d'abord rapidement la suite des calculs connus. Nous avons un conducteur cylindrique (*fig. 2*) de rayon a , de perméabilité μ supposée constante, de section σ , de résistivité ρ , où nous supposons les tubes d'induction magnétique et les tubes de courant cylindriques et coaxiaux avec le conducteur. Nous désignerons par E la différence de potentiel entre deux sections équipotentiellles à la distance l , par r une distance à l'axe, par C le courant dans le tube de rayon r , par I le courant total, par Φ le flux d'induction à travers le tube (l, dr) et par Φ_m le flux d'induction moyen à travers le conducteur, par w la densité de courant.

» Nous aurons pour un filet quelconque

$$E = \rho l w + \frac{d\Phi}{dt} = \frac{1}{\sigma} \int_0^a E d\sigma = Rl + \frac{d\Phi_m}{dt}$$

où R est la résistance déduite de la loi d'Ohm.

» Développons w en série sous la forme classique

$$w = \sum_0^{\infty} \alpha_n r^{2n}.$$

» Nous aurons dès lors

$$C = \int_0^r u d\sigma = \pi r^2 \sum_0^{\infty} \frac{w_n}{n+1} r^{2n}.$$

» Puis, si $\mathcal{H}$ est le champ magnétique en un point et Φ_a le flux d'induction des tubes extérieurs au conducteur,

$$\Phi = \Phi_a + \int_r^a \mu \mathcal{H} l dr.$$

» Or le long d'une ligne d'induction de rayon r ,

$$2\pi r \mathcal{H} = 4\pi C.$$

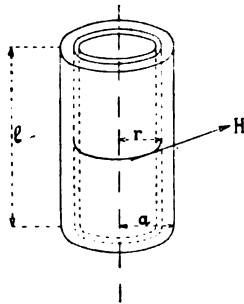


Fig. 2.

» Donc

$$\begin{aligned} \Phi &= \Phi_a + \int_r^a \mu l \frac{2C}{r} dr = \Phi_a + \mu \pi a^2 l \sum_0^{\infty} \frac{w_n}{(n+1)^2} a^{2n} \\ &\quad - \mu \pi l^2 \sum_0^{\infty} \frac{w_n}{(n+1)^2} r^{2n} \end{aligned}$$

et par conséquent

$$\Phi_m = \Phi_a + \mu \pi a^2 l \sum_0^{\infty} \frac{w_n}{(n+1)(n+2)} a^{2n}.$$

» Si la densité de courant était uniforme, on aurait

$$\begin{aligned} \pi a^2 w_0 &= I \\ w_1 = w_2 \dots &= 0 \\ \Phi_m &= LI. \end{aligned}$$

» Donc

$$LI = \Phi_a + \frac{\mu l}{2} I.$$

» Φ_a étant d'ailleurs indépendant de la distribution du flux magnétique dans le conducteur, on aura tout simplement

$$E = RI + \left(L - \frac{\mu}{2}\right) \frac{dI}{dt} + \mu\pi a^2 l \frac{d}{dt} \sum_0^{\infty} \frac{w_n}{(n+1)(n+2)} a^{2n}.$$

» On a d'ailleurs également.

$$I = (C)_{r=a} = \pi a^2 \sum_0^{\infty} \frac{w_n}{n+1} a^{2n}.$$

» Or la chute de potentiel le long d'un filet

$$E = \rho l w + \frac{d\Phi}{dt}$$

est indépendante de la position de ce filet, donc de r , ce qui donne les équations de condition

$$w_n = \frac{I}{(n!)^2} \left(\frac{\mu\pi}{\rho}\right)^n \frac{d^n w_0}{dt^n}$$

et permet de mettre l'intensité sous la forme

$$I = \pi a^2 \sum_0^{\infty} \frac{I}{n!(n+1)!} \left(\frac{\mu\pi a^2}{\rho}\right)^n \frac{d^n w_0}{dt^n}$$

qui montre qu'on peut, dans tous les cas, exprimer linéairement I en fonction de w_0 et de ses dérivées successives, et par conséquent w_0 (et par suite w_n et E) en fonction de I et de ses dérivées successives.

» Précisons maintenant que nous avons affaire à un courant périodique amorti qu'on peut mettre sous la forme

$$I = I_0 e^{-\delta\omega t} \cos(\omega t - \varphi) = I_1 e^{-\delta\omega t} \cos \omega t$$

en décalant l'origine des temps de $\frac{\varphi}{\omega}$.

» Si nous posons

$$\begin{aligned} I' &= I_1 e^{(i-\delta)\omega t} \\ I'' &= I_1 e^{-(i+\delta)\omega t}. \end{aligned}$$

» Nous aurons simplement

$$I = \frac{I' + I''}{2}.$$

» Il résulte de là que tous les w' et leurs dérivées pourront se mettre sous la forme

$$w_n = \frac{w'_n + w''_n}{2}$$

où les w' et les w'' sont analogues aux I' et aux I'' . Il suffira d'ailleurs de calculer les termes en $(')$, car les termes en $('')$ seront leurs conjuguées.

» Nous aurons

$$\frac{d^n w'_0}{dt^n} = (i - \theta)^n \omega^n w'_0$$

et, en posant

$$\alpha = \frac{\mu \pi \omega a^2}{\rho}$$

$$I' = \pi a^2 \sum_0^{\infty} \frac{(i - \theta)^n \alpha^n}{n! (n + 1)!} w'_0.$$

» Afin de ne pas trainer des séries infinies dans les calculs, posons

$$H(\alpha) = \sum_0^{\infty} \frac{\alpha^{n+1}}{n! (n + 1)!}.$$

» Nous aurons alors

$$I' = \frac{\rho w'_0}{\mu \omega (i - \theta)} H[\alpha(i - \theta)]$$

et par conséquent

$$w'_0 H[\alpha(i - \theta)] = \frac{\mu}{\rho} \frac{dI'}{dt}.$$

» Si nous posons

$$H[\alpha(i - \theta)] = \Phi' + i\Psi'$$

Φ' et Ψ' étant des fonctions réelles de α dont le développement en série est immédiat, nous aurons

$$w'_0 (\Phi' + i\Psi') = \frac{\mu}{\rho} \frac{dI'}{dt}$$

$$w''_0 (\Phi' - i\Psi') = \frac{\mu}{\rho} \frac{dI''}{dt}$$

c'est-à-dire

$$w'_0 \Phi' = \frac{\mu}{\rho} \frac{dI}{dt} - i\Psi' \frac{w'_0 - w''_0}{2}$$

on voit d'ailleurs immédiatement que

$$i \frac{w'_0 - w''_0}{2} = \frac{1}{\omega} \frac{dw_0}{dt} + \theta w_0.$$

» Par conséquent

$$\frac{\mu}{\rho} \frac{dI}{dt} = (\Phi' + \theta \Psi'') w_0 + \frac{\Psi'}{\omega} \frac{dw_0}{dt}$$

en différenciant cette équation et exprimant les dérivées secondes au moyen des fonctions et de leurs dérivées, on obtient immédiatement soit w_0 en fonction de I et $\frac{dI}{dt}$, soit I en fonction de w_0 et $\frac{dw_0}{dt}$.

» On peut dès lors, en substituant dans les équations précédentes, avoir d'une part la valeur de w_r en fonction de w_a et $\frac{dw_a}{dt}$, c'est-à-dire étudier la variation de la densité de courant suivant la distance à la surface, et d'autre part l'expression de E en fonction de I et $\frac{dI}{dt}$, c'est-à-dire la valeur de la résistance et de la self-inductance effectives en fonction de la valeur qu'elles auraient en courant continu, de α et de θ .

» Ces calculs ne présentent pas la moindre difficulté, et l'écriture même, qui paraît compliquée au premier abord, se simplifie appréciablement. Malheureusement l'expression des deux fonctions Φ' et Ψ'' et de leurs dérivées, qu'on ne possède que par développements en série, se prête assez mal à la discussion, de sorte qu'il paraît plus intéressant de laisser de côté le cas du conducteur cylindrique pour prendre le cas, beaucoup plus simple comme résultat, d'un conducteur indéfini.

» IV. *Conducteur indéfini.* — Considérons donc un conducteur homogène et de perméabilité constante, limité par un plan et indéfini dans tous les autres sens, parcouru par un courant rectiligne parallèle au plan de séparation.

» Afin de n'avoir pas à envisager des courants infinis, limitons (*fig. 3*) un tube de courant par deux surfaces équipotentiellles à la distance l l'une de l'autre, deux surfaces de courant à la distance λ l'une de l'autre (ces quatre plans sont perpendiculaires au plan de séparation) et un plan parallèle au plan de séparation, à la distance a .

» Nous pouvons reprendre exactement le raisonnement suivi pour le conducteur cylindrique, sauf que les surfaces d'égale densité seront des plans parallèles au plan de séparation, dont un sera à la distance r de ce plan.

» Φ_0 étant le flux en dehors du conducteur, nous aurons

$$\Phi = \Phi_0 + \int_0^r \frac{4\pi\mu l}{\lambda} C dr$$

et, en posant

$$w = \sum_0^\infty w_n r^n$$

$$\Phi_m = \Phi_0 + \frac{4\pi\mu l}{a} \sum_0^\infty \frac{w_n}{n+1} \left[\frac{1}{2} - \frac{1}{(n+2)(n+3)} \right] a^{n+3}$$

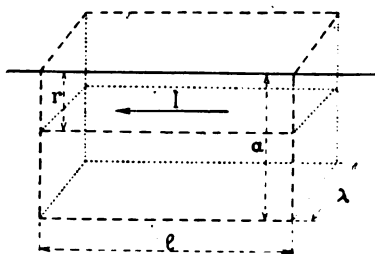


Fig. 3.

Si la densité était uniforme, on aurait

$$I = w_0 a \lambda$$

$$\Phi_0 = \left(L - \frac{4\pi\mu l a}{3\lambda} \right) I = L' I$$

et par conséquent

$$E = RI + L' \frac{dI}{dt} + 2\pi\mu l \frac{d}{dt} \sum_0^\infty \frac{n+4}{(n+2)(n+3)} w_n a^{n+2}$$

$$I = \lambda \sum_0^\infty \frac{w_n a^{n+1}}{n+1}.$$

» La condition que les surfaces équipotentiellles sont des plans perpendiculaires au plan de séparation et au courant donne la série d'équations

$$w_{2n} = \left(\frac{4\pi\mu}{\rho} \right)^n \frac{1}{(2n)!} \frac{d^{2n} w_0}{dt^{2n}}$$

$$w_{2n+1} = - \left(\frac{4\pi\mu}{\rho} \right)^{n+1} \frac{1}{(2n+1)!} \frac{1}{\lambda} \frac{d^{2n+1} I}{dt^{2n+1}}$$

de telle sorte que l'on a

$$\sum_0^{\infty} \left(\frac{4\pi\mu a^2}{\rho} \right)^n \frac{1}{(2n)!} \frac{d^n I}{dt^n} = \lambda \sum_0^{\infty} \left(\frac{4\pi\mu}{\rho} \right)^n \frac{a^{2n+1}}{(2n+1)!} \frac{d^n w_0}{dt^n}.$$

» Reprenons notre courant périodique amorti. Ces équations de condition s'appliqueront séparément aux I' , w' et aux I'' , w'' , et on aura

$$\lambda w'_0 \sum_0^{\infty} \left(\frac{4\pi\mu\omega}{\rho} \right)^n \frac{(i-\theta)^n a^{2n+1}}{(2n+1)!} = I' \sum_0^{\infty} \left(\frac{4\pi\mu\omega a^2}{\rho} \right)^n \frac{(i-\theta)^n}{(2n)!}.$$

» Ce qui prendra une forme plus simple en posant

$$\alpha = a \sqrt{\frac{2\pi\mu\omega}{\rho}}.$$

» Ecrivons momentanément

$$\sum \frac{[2(i-\theta)]^n \alpha^{2n}}{2n!} = A + Bi.$$

» Nous aurons

$$\frac{d^2(A + Bi)}{d\alpha^2} = \sum_1^{\infty} \frac{[2(i-\theta)]^n \alpha^{2n-2}}{(2n-2)!} = 2(i-\theta)(A + Bi).$$

» Si l'on prend les paramètres auxiliaires,

$$p = \sqrt{-\theta + \sqrt{1 + \theta^2}}$$

$$q = \sqrt{\theta + \sqrt{1 + \theta^2}}.$$

» Que l'on tienne compte que lorsque α tend vers 0, A tend vers 1 et $\frac{B}{\alpha}$ vers 0, ce qui détermine les constantes d'intégration, et qu'enfin l'on emploie les notations hyperboliques

$$Ch\alpha = \frac{e^{\alpha} + e^{-\alpha}}{2}$$

$$Sh\alpha = \frac{e^{\alpha} - e^{-\alpha}}{2}$$

on a tout simplement

$$A = Chp\alpha \cos q\alpha$$

$$B = Shp\alpha \sin q\alpha$$

et par conséquent

$$I'(Chp\alpha \cos q\alpha + iShp\alpha \sin q\alpha) = \frac{\lambda \omega'_0 a}{2\alpha(i - \theta)} \begin{pmatrix} pShp\alpha \cos q\alpha \\ -qShp\alpha \sin q\alpha \\ +ipChp\alpha \sin q\alpha \\ +iqShp\alpha \cos q\alpha \end{pmatrix}$$

ce qui peut s'écrire

$$I' [i(Chp\alpha \cos q\alpha - \theta Shp\alpha \sin q\alpha) - (\theta Chp\alpha \cos q\alpha + Shp\alpha \sin q\alpha)] = \frac{a\lambda}{2\alpha} \omega'_0 [x^{e'} \text{ par le facteur ci-dessus}]$$

et par conséquent

$$\left(\frac{1}{\omega} \frac{dI}{dt} + \theta I \right) (Chp\alpha \cos q\alpha - \theta Shp\alpha \sin q\alpha) - I (\theta Chp\alpha \cos q\alpha + Shp\alpha \sin q\alpha) = \frac{a\lambda}{2\alpha} \left[\omega_0 (pShp\alpha \cos q\alpha - qChp\alpha \sin q\alpha) + \left(\theta \omega_0 + \frac{1}{\omega} \frac{d\omega_0}{dt} \right) (pChp\alpha \sin q\alpha + qShp\alpha \cos q\alpha) \right]$$

ce qui se simplifie notablement en tenant compte des relations :

$$\begin{aligned} p + q\theta &= q \sqrt{1 + \theta^2} \\ q - p\theta &= p \sqrt{1 + \theta^2} : \end{aligned}$$

» Dérivons cette équation par rapport au temps en tenant compte des relations

$$\begin{aligned} \frac{1}{\omega^2} \frac{d^2 I}{dt^2} + \frac{2\theta}{\omega} \frac{dI}{dt} + (1 + \theta^2) I &= 0 \\ \frac{1}{\omega^2} \frac{d^2 \omega_0}{dt^2} + \frac{2\theta}{\omega} \frac{d\omega_0}{dt} + (1 + \theta^2) \omega_0 &= 0 \end{aligned}$$

qui résultent, la première de la définition même de I et la seconde de la relation linéaire existant entre ω_0 , I et ses dérivées, et éliminons $\frac{d\omega_0}{dt}$. Sans écrire le détail du calcul, qui ne présente aucune difficulté, mais est un peu long, on obtient après réduction

$$\begin{aligned} \frac{a\lambda}{2\alpha} \omega_0 [Ch2p\alpha - \cos 2q\alpha] &= I \sqrt{1 + \theta^2} \frac{qSh2p\alpha + p \sin 2q\alpha}{2} + \\ &\quad \frac{1}{\omega} \frac{dI}{dt} \frac{qSh2p\alpha - p \sin 2q\alpha}{2} \end{aligned}$$

» Si, dans cette formule, on annule l'amortissement θ , ce qui revient à faire

$$p = q = 1$$

on obtient

$$\frac{a\lambda}{2\alpha} (Ch\ 2\alpha - \cos 2\alpha) \omega_0 = I \frac{Sh\ 2\alpha + \sin 2\alpha}{2} + \frac{1}{\omega} \frac{dI}{dt} \frac{Sh\ 2\alpha - \sin 2\alpha}{2}$$

ce qui est précisément la formule obtenue par un calcul direct dans le cas du courant sinusoïdal. Cette vérification n'était pas inutile. On voit que, jusqu'à présent, le cas du courant amorti ne diffère de celui du courant sinusoïdal qu'en ce que le paramètre α est remplacé par $p\alpha$ dans les exponentielles et par $q\alpha$ dans les fonctions trigonométriques.

» Nous avons donc

$$\frac{a\lambda}{\alpha} \omega_0 = I \sqrt{1 + \theta^2} \frac{q Sh\ 2p\alpha + p \sin 2q\alpha}{Ch\ 2p\alpha - \cos 2q\alpha} + \frac{1}{\omega} \frac{dI}{dt} \frac{q Sh\ 2p\alpha - p \sin 2q\alpha}{Ch\ 2p\alpha - \cos 2q\alpha}$$

» V. — Si on fait croître α indéfiniment, on aura à la limite

$$\frac{a\lambda}{\alpha q} \omega_0 = I \sqrt{1 + \theta^2} + \frac{1}{\omega} \frac{dI}{dt}$$

» Nous voyons immédiatement que ω_0 est décalé sur I et que, pour faire des comparaisons intéressantes, il faut comparer les plus grandes valeurs absolues de ces paramètres.

» Or nous avons posé (*fig. 4*)

$$I = I_1 e^{-\theta \omega t} \cos \omega t.$$

» Dans ces conditions, le maximum $[I]$ de I est égal à I_1 . Mais si nous posons par analogie (*fig. 5*)

$$\omega_0 = W_0 e^{-\theta \omega t} \cos (\omega t - \xi_0)$$

le maximum $[\omega_0]$ de ω_0 peut n'être pas égal à W_0 à cause du décalage et de l'amortissement. Ce maximum aura lieu à un moment défini par

$$\frac{d\omega_0}{dt} = -W_0 e^{-\theta \omega t_1} \omega [\theta \cos (\omega t_1 - \xi_0) + \sin (\omega t_1 - \xi_0)] = 0.$$

» C'est-à-dire pour

$$\operatorname{tg} (\omega t_1 - \xi_0) = -\theta$$

par conséquent

$$\cos (\omega t_1 - \xi_0) = \sqrt{\frac{1}{1 + \operatorname{tg}^2 (\omega t_1 - \xi_0)}} = \sqrt{\frac{1}{1 + \theta^2}}.$$

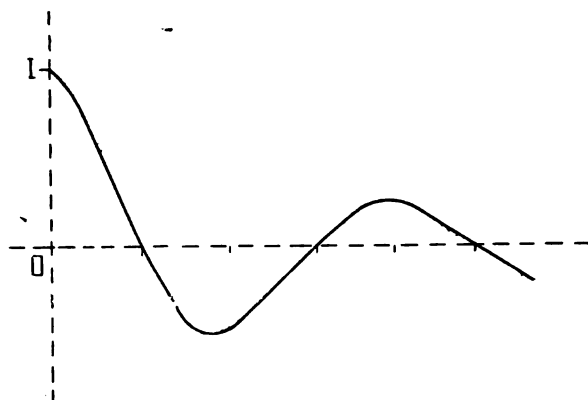


Fig. 4.

» Il faut ici faire une remarque nécessaire, sous peine de fausser complètement les résultats. Nous avons

$$\omega t = \xi_0 - \operatorname{arc} \operatorname{tg} \theta.$$

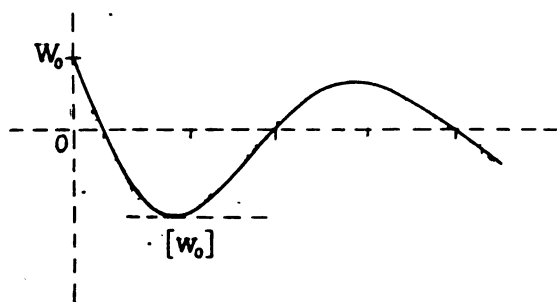


Fig. 5.

» Or l'arc tg n'est déterminé qu'à un multiple quelconque près de π , positif ou négatif, et la valeur ainsi déterminée peut très bien être négative et correspondre par conséquent à un maximum antérieur à l'origine des temps, c'est-à-dire inexistant. Il faut évidemment que ωt soit positif; d'autre part, en raison de l'amortissement, le premier maximum ou minimum algébrique est certainement plus grand, en valeur absolue, que tous les autres, ce qui

se traduit par cette condition que ωt doit être inférieur à π . Nous pouvons donc dire qu'on aura

$$\omega t = \xi_0 - \text{arc tg } \theta + \zeta \pi$$

formule dans laquelle ζ est nul quand $\xi_0 - \text{arc tg } \theta$ est positif, et égal à 1 quand $\xi_0 - \text{arc tg } \theta$ est négatif.

» Ceci sera plus clair en étudiant la formule

$$I = I_1 e^{-\theta \omega t} \cos \omega t$$

où aucune phase n'intervient.

» Le maximum est donné par

$$\omega t = - \text{arc tg } \theta$$

valeur négative qui est physiquement hors de cause. Le maximum réel en valeur absolue sera donc évidemment, ainsi qu'on le voit en examinant la courbe représentative, le premier minimum qui correspond au temps

$$\omega t = \pi - \text{arc tg } \theta$$

et donne

$$I_{\text{max.}} = \frac{I_1 e^{\theta (\text{arc tg } \theta - \pi)}}{\sqrt{1 + \theta^2}}.$$

» Cette valeur étant d'ailleurs plus petite que I_1 , la plus grande valeur de I sera bien I_1 , comme c'était évident *a priori*.

» Nous aurons donc, sous la réserve précédente,

$$[w_0] = W_0 e^{\theta \text{arc tg } \theta - \xi_0 - \zeta \pi} \sqrt{\frac{1}{1 + \theta^2}}.$$

» Déterminons maintenant W_0 et ξ_0 . Nous avons

$$\frac{a\lambda}{\alpha q} W_0 e^{-\theta \omega t} \cos (\omega t - \xi_0) = [I] e^{-\theta \omega t} [(\sqrt{1 + \theta^2} - \theta) \cos \omega t - \sin \omega t].$$

» C'est-à-dire

$$\begin{aligned} \frac{a\lambda}{\alpha q} W_0 \cos \xi_0 &= [I] p^2 \\ \frac{a\lambda}{\alpha q} W_0 \sin \xi_0 &= -[I] \end{aligned}$$

ce qui peut s'écrire

$$\begin{aligned}\frac{a\lambda}{\alpha} W_0 \cos \xi_0 &= p [I] \\ \frac{a\lambda}{\alpha} W_0 \sin \xi_0 &= -q [I]\end{aligned}$$

et on en déduit immédiatement

$$\begin{aligned}\frac{a\lambda}{\alpha} W_0 &= [I] \sqrt{p^2 + q^2} = [I] \sqrt{2} \sqrt{1 + \theta^2} \\ \operatorname{tg} \xi_0 &= -\frac{p}{q} = -q^2\end{aligned}$$

ce qui donne finalement

$$\begin{aligned}\frac{a\lambda}{\alpha} [w_0] &= [I] \sqrt{\frac{2}{\sqrt{1 + \theta^2}}} e^{\theta (\operatorname{arc} \operatorname{tg} \theta + \operatorname{arc} \operatorname{tg} q^2 - \zeta\pi)} \\ &= [I] \sqrt{\frac{2}{\sqrt{1 + \theta^2}}} e^{\theta \left(\operatorname{arc} \operatorname{tg} \frac{p\theta + q}{p - q\theta} - \zeta\pi \right)}.\end{aligned}$$

» On doit avoir, d'après ce que nous avons vu

$$0 \leq \zeta\pi - \operatorname{arc} \operatorname{tg} \frac{p\theta + q}{p - q\theta} \leq \pi.$$

» C'est-à-dire

$$\begin{aligned}\zeta &= 0 \text{ pour } \operatorname{arc} \operatorname{tg} \frac{p\theta + q}{p - q\theta} < 0 \\ \zeta &= 1 \quad \text{id}^\circ \quad > 0.\end{aligned}$$

» Or quand θ croît à partir de 0, l'arc tg croît jusqu'à $\frac{\pi}{2}$ pour la valeur

$$p - q\theta = 0.$$

» C'est-à-dire

$$\theta = p^2 = -\theta + \sqrt{1 + \theta^2} = \frac{1}{\sqrt{3}}.$$

» Dès que θ a dépassé cette valeur, l'arc tg reste négatif, et croît algébriquement de $-\frac{\pi}{2}$ à 0, de telle sorte que le terme

$$\zeta\pi - \operatorname{arc} \operatorname{tg} \frac{p\theta + q}{p - q\theta}$$

va en décroissant constamment de $\frac{3\pi}{4}$ à 0.

» Il importe maintenant de vérifier si le maximum algébrique $[w_0]$ est bien réellement supérieur à la valeur de w_0 à l'origine des temps, c'est-à-dire si l'on a

$$\frac{W_0 e^{\left(\arctan \frac{p\theta + q}{p - q\theta} - \zeta\pi\right)}}{\sqrt{1 + \theta^2}} \geq W_0 \cos \xi_0$$

or

$$\cos \xi_0 = \sqrt{\frac{1}{1 + \tan^2 \xi_0}} = p \sqrt{\frac{1}{p^2 + q^2}} = p \sqrt{\frac{1}{2\sqrt{1 + \theta^2}}}.$$

» L'inégalité en question revient donc à

$$e^{\left(\arctan \frac{p\theta + q}{p - q\theta} - \zeta\pi\right)} \geq p \sqrt{\frac{1}{2\sqrt{1 + \theta^2}}}.$$

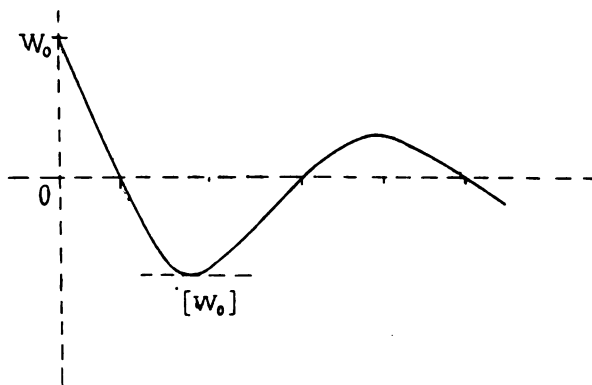


Fig. 6.

» Pour un amortissement nul, le premier membre est égal à 1, tandis que le second est égal à $\frac{1}{\sqrt{2}}$. L'inégalité est donc vérifiée; mais quand θ augmente, le premier membre décroît constamment jusqu'à $e^{-\frac{3}{2}} = 0,222$, tandis que le second décroît très lentement jusqu'à $\frac{1}{2}$. Il y a donc une valeur de θ pour laquelle l'inégalité devient une égalité et au-dessus de laquelle elle n'est plus vérifiée (fig. 6).

» Cette valeur, que je n'ai pas déterminée avec une grande précision, est approximativement égale à 0,22, ce qui constitue un amortissement modéré.

» Ainsi, toutes les fois que θ sera inférieur à 0,22, la plus grande valeur de W_0 sera

$$[w_0] = [I] \frac{\alpha}{a\lambda} \sqrt{\frac{2}{1+\theta}} e^{-\theta \left(\pi - \arctg \frac{p\theta + q}{p - q\theta} \right)}.$$

» Mais, dès que θ viendra à dépasser 0,22, la plus grande valeur de W_0 deviendra égale à

$$W_0 \cos \xi_0 = \frac{\alpha}{a\lambda} p [I].$$

» L'effet de l'amortissement est d'ailleurs de même sens dans les deux cas.

» VI. — Les formules montrent immédiatement, par leur simple aspect, que les paramètres l et λ n'y jouent aucun rôle. Nous avons donc ainsi la valeur de la densité superficielle, en fonction du courant total, pour le conducteur indéfini tout entier, et nous voyons tout de suite qu'il y a deux remarques à faire : la première, c'est que cette densité est une fraction du courant d'autant plus faible que l'amortissement est plus grand ; la seconde, qui est très importante, est que, bien que la profondeur soit infinie, la densité du courant à la surface est une fraction *finie* du courant total.

» On peut déjà déduire de cette remarque que la distribution du courant est très probablement superficielle, quelle que soit la valeur finie de l'amortissement. Afin de confirmer cette déduction nous allons rechercher la valeur de la densité du courant w_r à la profondeur r , en posant, pour simplifier,

$$\beta = \frac{r}{a} \alpha.$$

» Nous avons

$$w_r = \sum_0^{\infty} w'_n r^n.$$

» En remplaçant et développant, on obtient

$$w_r = w'_0 (Chp \beta \cos q\beta + i Shp \beta \sin q\beta) - \frac{\beta I'}{\lambda r} \left[p Shp \beta \cos q\beta - q Chp \beta \sin q\beta + i (p Chp \beta \sin q\beta + q Shp \beta \cos q\beta) \right]$$

et par conséquent

$$\begin{aligned} \omega_r = & \omega_0 \operatorname{Ch} p \beta \cos q \beta + \left(\theta \omega_0 + \frac{1}{\omega} \frac{d\omega_0}{dt} \right) \operatorname{Sh} p \beta \sin q \beta \\ & - \frac{\alpha I}{a \lambda} \sqrt{1 + \theta^2} (q \operatorname{Sh} p \beta \cos q \beta - p \operatorname{Ch} p \beta \sin q \beta) \\ & - \frac{\alpha}{a \lambda \omega} \frac{dI}{dt} (p \operatorname{Ch} p \beta \sin q \beta + q \operatorname{Sh} p \beta \cos q \beta). \end{aligned}$$

« De même que nous avons précédemment éliminé $\frac{d\omega_0}{dt}$ et exprimé ω_0 en fonction de I et $\frac{dI}{dt}$, nous aurions pu éliminer $\frac{dI}{dt}$ et exprimer I et $\frac{dI}{dt}$ en fonction de ω_0 et $\frac{d\omega_0}{dt}$.

» Le calcul se fait très simplement en prenant tout de suite la formule simplifiée valable pour le conducteur indéfini. Il est un peu plus compliqué de forme, sans présenter aucune difficulté, lorsqu'on prend la formule complète sans préjuger de la valeur de α . Mais comme dans ce cas, en faisant croître α indéfiniment, on obtient finalement les mêmes résultats que par les formules simplifiées, il est inutile de refaire ici le calcul complet.

» On obtient ainsi

$$\begin{aligned} I = & \frac{a \lambda}{2 \alpha \sqrt{1 + \theta^2}} \left[(p - q \theta) \omega_0 - \frac{q}{\omega} \frac{d\omega_0}{dt} \right] \\ \frac{1}{\omega} \frac{dI}{dt} = & \frac{a \lambda}{2 \alpha} \left[(p + q \theta) \omega_0 + \frac{q}{\omega} \frac{d\omega_0}{dt} \right] \end{aligned}$$

» En substituant dans la valeur de ω_r et faisant les réductions, il vient finalement

$$\omega_r = e^{-p \beta} \left[W_0 (\cos q \beta - \theta \sin q \beta) - \frac{\sin q \beta}{\omega} \frac{dW_0}{dt} \right]$$

ce qui montre que la densité de courant n'est pas en phase avec celle à la surface.

» Posons encore ici, pour déterminer le maximum $[\omega_r]$ de ω_r ,

$$\omega_r = W_r e^{-\theta \omega t} \cos (\omega t - \xi_r).$$

» Nous aurons, comme plus haut

$$[\omega_r] = W_r e^{\theta (\arctg \theta - \xi_r - \xi_\pi)} \sqrt{\frac{1}{1 + \theta^2}}$$

» D'ailleurs

$$W_r e^{-\theta \omega t} \cos (\omega t - \xi_r) = e^{-p\beta} W_0 e^{-\theta \omega t} \left\{ \begin{aligned} &(\cos q\beta - \theta \sin q\beta) \cos (\omega t - \xi_0) \\ &+ \sin q\beta [\theta \cos (\omega t - \xi_0) + \sin (\omega t - \xi_0)] \end{aligned} \right\}$$

» D'où l'on déduit immédiatement

$$W_r \cos (\omega t - \xi_r) = e^{-p\beta} W_0 \cos (\omega t - \xi_0 - q\beta)$$

et par conséquent

$$\begin{aligned} W_r &= e^{-p\beta} W_0 \\ \xi_r &= \xi_0 + q\beta \end{aligned}$$

» Mais ici encore il est indispensable de vérifier que $[\omega_r]$ est au moins aussi grand que $W_r \cos \xi_r$.

» Or

$$\cos \xi_r = \cos \xi_0 \cos q\beta - \sin \xi_0 \sin q\beta = \frac{p \cos q\beta + q \sin q\beta}{\sqrt{2\sqrt{1+\theta^2}}}.$$

» On doit donc vérifier l'inégalité

$$\frac{e^{\theta (\arctan \frac{p}{q} - \xi_0 - q\beta - \zeta_0)}}{\sqrt{1+\theta^2}} > \frac{p \cos q\beta + q \sin q\beta}{\sqrt{2\sqrt{1+\theta^2}}}$$

ou

$$e^{\theta \left(\arctan \frac{p}{q} - \xi_0 - q\beta - \zeta_0 \right)} > (p \cos q\beta + q \sin q\beta) \sqrt{\frac{1}{2} \sqrt{1+\theta^2}}$$

» Lorsque l'amortissement est nul, le premier membre est égal à 1 et le second à

$$\frac{\cos \beta + \sin \beta}{\sqrt{2}} = \sin \left(\beta + \frac{\pi}{4} \right) \leq 1$$

et l'inégalité est bien réellement vérifiée; pour certaines profondeurs, il y a égalité entre $[\omega_r]$ et W_r , comme cela devait être. Mais si l'amortissement prend une valeur finie, il n'en est plus de même.

» Dans ce cas, l'inégalité est encore vérifiée pour les petites valeurs de β , c'est-à-dire très près de la surface.

» Mais lorsque β augmente le premier membre tend vers 0, tandis que le second conservera des valeurs oscillant entre 0 et $\sqrt{1+\theta^2}$, car il n'y a lieu de considérer en ce moment que les valeurs absolues. Nous aurons donc successivement un nombre de zones, d'ailleurs théoriquement indéfini, mais de plus en plus restreintes, comme épaisseur, où l'inégalité sera vérifiée.

» Ainsi, en partant de la surface nous aurons une première couche où le maximum de w_r sera $[w_r]$, puis une couche où il sera $W_r \cos \xi_r$, puis une nouvelle couche, moins épaisse que la première, où il sera de nouveau $[w_r]$, et ainsi de suite indéfiniment.

» Nous avons d'ailleurs

$$W_r \cos \xi_r = e^{-p\beta} W_0 \cos (\xi_0 + q\beta) = e^{-p\beta} W_0 \cdot \frac{p \cos q\beta + q \sin q\beta}{\sqrt{2} \sqrt{1 + \theta^2}}$$

$$[w_r] = \frac{W_0}{\sqrt{1 + \theta^2}} e^{-\xi_0 + \theta \operatorname{arc} \lg \frac{p\theta + q}{p - q\theta} - (p + q\theta)\beta}$$

c'est-à-dire

$$W_r \cos \xi_r = e^{-p\beta} (W_0 \cos \xi_0) (\cos q\beta + q^2 \sin q\beta)$$

$$[w_r] = \frac{q}{\sqrt{\frac{1}{2} \sqrt{1 + \theta^2}}} (W_0 \cos \xi_0) e^{\theta \operatorname{arc} \lg \frac{p\theta + q}{p - q\theta} - \xi_0 - (p + q\theta)\beta}$$

formules à employer lorsque θ est supérieur à 0,22, et

$$W_r \cos \xi_r = (w_0) (p \cos q\beta + \sin q\beta) \sqrt{\frac{1}{2} \sqrt{1 + \theta^2}} e^{\xi_0 - \theta \operatorname{arc} \lg \frac{p\theta + q}{p - q\theta} - p\beta}$$

$$[w_r] = [w_0] e^{-(p + q\theta)\beta} = [w_0] e^{-2q \sqrt{1 + \theta^2}}$$

formules à employer lorsque θ est inférieur à 0,22. L'un et l'autre groupe de formules varient d'ailleurs dans le même sens avec la profondeur, mais l'influence de l'amortissement diffère selon sa valeur.

» VII. — D'une façon générale, ces formules montrent :

» 1° Que, quelle que soit la valeur finie de l'amortissement, la distribution est toujours superficielle (en ne tenant pas compte des petites variations que peut introduire le terme $p \cos q\beta + q \sin q\beta$ dans les zones de deuxième espèce);

» 2° Que, dès que β n'est plus très petit, la densité de courant décroît très rapidement quand la profondeur augmente et que, par conséquent, le courant est pratiquement localisé dans une couche d'une certaine épaisseur;

» 3° Que l'amortissement a pour résultat de compliquer la répartition du courant selon la profondeur. Dans une première zone à partir de la surface, le courant décroît beaucoup plus vite que s'il n'y avait pas d'amortissement, car $q\beta \sqrt{1 + \theta^2}$ croît beaucoup plus vite que β . La densité maxima du courant à la profondeur r y est la même lorsque θ est inférieur à 0,22, toutes choses égales d'ailleurs,

qu'elle serait, pour un courant sinusoïdal, à la profondeur r_1 définie par l'équation

$$r_1 = r q \sqrt{1 + \theta^2}.$$

» Lorsque θ est égal à l'unité, ce qui est déjà un très fort amortissement, puisque les valeurs correspondantes sont réduites à $\frac{1}{485}$ au bout d'une période, on a

$$r_1 = r \sqrt{1 + \sqrt{2}} \sqrt{2} = 2,2r.$$

» C'est-à-dire que la pénétration serait réduite à moins de moitié. Puis à une certaine profondeur, le courant décroît moins vite, en moyenne, que le courant sinusoïdal parce que p est inférieur à l'unité quand il y a de l'amortissement.

» Puis on retrouve une zone de rapide diminution comme la première, mais moins épaisse, et ainsi de suite.

» On voit que le phénomène est assez complexe, et, pour se rendre compte plus exactement du résultat, il vaut mieux calculer le courant C' qui circule entre la surface et le plan de profondeur r parallèle au plan limite, en fonction du courant total I .

» Nous allons cependant au préalable donner quelques exemples de la décroissance de la densité de courant pour le cas d'un courant purement sinusoïdal.

» Supposons d'abord avoir affaire à un sol pour lequel

$$\rho = 66.10^{11} \text{ c.g.s.}$$

$$\mu = 1$$

VALEURS APPROXIMATIVES DE $\frac{[w_r]}{[w_0]} = e^{-\beta}$			
PROFONDEUR EN MÈTRES	COURANT SINUSOÏDAL ($\theta = 0$)		
	$\omega = 150$	$\omega = 4\,000$	$\omega = 10^7$
1	0.999	0.994	0.73
5	0.994	0.97	0.21
10	0.99	0.94	0.04
50	0.94	0.73	0.0000001
100	0.88	0.54	»
200	0.82	0.29	»
500	0.55	0.04	»
1 000	0.30	0.006	»
2 000	0.09	»	»
4 000	0.008	»	»

» Pour de l'eau salée dont la résistivité serait de 373, 10⁹ c. g. s. c'est-à-dire 17,68 fois plus faible que celle du sol considéré plus haut on aurait les mêmes densités de courant relatives à des profondeurs

$$\sqrt{17.68} = 4,2$$

fois plus faibles.

» Ainsi pour les courants de pulsation 10⁷, la densité serait réduite aux 0,04 de sa valeur à la surface à une profondeur de 2^m,30 pour le courant sinusoïdal.

» Si nous envisageons encore du cuivre, dont la résistivité serait $\frac{1}{4} 10^{-9}$ fois celle du sol considéré, nous voyons que les densités de courant seront les mêmes que celles du tableau ci-dessus pour des profondeurs 44.10³ fois plus faibles, c'est-à-dire pour des épaisseurs prises dans le métal à partir de la surface et évaluées en millimètres, qui seraient le $\frac{1}{44}$ des profondeurs en mètres du tableau. Par exemple, le courant de pulsation 4000 verrait à une profondeur de 11 millimètres sa densité réduite aux 0,04 de celle à la surface.

» Si nous considérons du fer dont la résistivité soit 6 fois celle du cuivre dont la perméabilité serait égale à 96, les profondeurs correspondantes sont encore 4 fois plus petites et doivent, dans les mêmes conditions, être divisées par 176. Si enfin la perméabilité du fer était portée à 3500, ces profondeurs deviendraient encore 6 fois plus faibles, et devraient être divisées par 1056, soit 1000 en nombres ronds; c'est-à-dire qu'à un millimètre de profondeur, la densité de courant serait réduite à 0,30 de sa valeur à la surface pour les courants de pulsation 150 et à 0,006 de sa valeur à la surface pour les courants de pulsation 4000; pour les courants de pulsation 10⁷, la densité serait réduite à 0,04 de sa valeur superficielle à une profondeur de $\frac{1}{100}$ de millimètre, pour des courants non amortis.

» D'une façon générale, la résistance de la couche intéressée par le passage de la presque totalité du courant est

$$R_1 = \frac{\rho l}{\lambda r_1}$$

r_1 étant la profondeur où $\frac{[\omega_r]}{[\omega_0]}$ est réduit à une valeur ϵ qu'on se fixe. Cette valeur ϵ détermine en courant sinusoïdal une valeur β_1 de β par la formule

$$\beta_1 = \log \frac{1}{\epsilon}$$

et on a

$$\frac{1}{r_1} = \frac{1}{\beta_1} \sqrt{\frac{2\pi\mu\omega}{\rho}}.$$

» Donc

$$R_1 = \frac{l}{\beta_1 \lambda} \sqrt{2\pi\mu\omega\rho}.$$

» Ainsi R_1 est proportionnel à $\sqrt{\rho}$ et croît par conséquent avec la résistivité. Pour un courant total I donné, la perte par effet Joule est donc d'autant plus grande que la résistivité du conducteur est elle-même plus grande.

» VIII. — Nous reviendrons plus loin sur ces points. Il est intéressant d'abord de préciser cette notion de couche superficielle intéressée en calculant le courant C' qui traverse une couche comprise entre le plan limite et un plan parallèle placé à la distance r de ce plan dans le conducteur.

» La valeur de ce courant se déduit immédiatement de la valeur I et il est inutile de répéter les détails de ces calculs un peu fastidieux. En faisant croître a indéfiniment, on arrive très rapidement aux valeurs

$$C' = I \frac{Sh2p\beta + \theta \sin 2q\beta}{Ch2p\beta + \cos 2q\beta} + \frac{1}{\omega} \frac{dI}{dt} \frac{\sin 2q\beta}{Ch2p\beta + \cos 2q\beta}.$$

» Posons comme précédemment

$$C' = C'' e^{-\theta \omega t} \cos(\omega t - \xi').$$

» Nous aurons, comme plus haut,

$$[C'] = C'' e^{\theta(\text{arc tg } \theta - \xi' - \frac{1}{2}\pi)} \sqrt{\frac{1}{1 + \theta^2}}.$$

» D'ailleurs

$$C'' \cos(\omega t - \xi') = [I] \left[\frac{Sh2p\beta + \theta \sin 2q\beta}{Ch2p\beta + \cos 2q\beta} \cos \omega t - \frac{\sin 2q\beta}{Ch2p\beta + \cos 2q\beta} (\theta \cos \omega t + \sin \omega t) \right].$$

» Par conséquent

$$C'' \cos \xi' = [I] \frac{Sh2p\beta}{Ch2p\beta + \cos 2q\beta}$$

$$C'' \sin \xi' = - [I] \frac{\sin 2q\beta}{Ch2p\beta + \cos 2q\beta}.$$

» D'où l'on tire

$$\operatorname{tg} \xi' = - \frac{\sin 2q\beta}{Sh2p\beta}$$

valeur qui montre que ξ' tend vers 0 lorsque β croît, au moins au-dessus d'une certaine valeur, mais d'autant moins vite que l'amortissement est plus grand.

» Le courant C' est en phase avec le courant total à toutes les profondeurs pour lesquelles

$$2q\beta = 2k\pi$$

k étant un nombre entier quelconque. L'épaisseur des couches successives ainsi formées est d'autant plus faible que l'amortissement est plus grand.

» Il est intéressant de noter que, pour toutes les profondeurs où $q\beta$ est égal à $k\pi$, on a

$$C' = I \frac{Shkp^2\pi}{Chkp^2\pi} < I$$

et que pour toutes les profondeurs où $q\beta$ est égal à $\frac{2k+1}{2}\pi$, on a

$$e' = I \frac{Ch \frac{2k+1}{2} p^2\pi}{Sh \frac{2k+1}{2} p^2\pi} > I$$

» On a aussi

$$C'' = [I] \frac{\sqrt{Sh^2 2p\beta + \sin^2 2q\beta}}{Ch2p\beta + \cos 2q\beta} = [I] \sqrt{\frac{Ch2p\beta - \cos 2q\beta}{Ch2p\beta + \cos 2q\beta}}.$$

» Avant de discuter cette valeur, il convient de voir si $[C']$ est bien réellement au moins égal à $C'' \cos \xi'$, ce qui exige que l'on ait

$$\frac{e^{\theta(\operatorname{arc} \operatorname{tg} \theta - \xi' - \xi\pi)}}{\sqrt{1 + \theta^2}} \geq \cos \xi'.$$

» Quand l'amortissement est nul, le premier nombre est égal à 1, et le second ne peut dépasser 1, donc l'inégalité est toujours vérifiée. Quand l'amortissement n'est pas nul, comme l'exposant est négatif, le premier membre décroît constamment à mesure que θ croît à partir de zéro, tandis que le second membre prend une valeur oscillatoire qui tend vers 1 lorsque β augmente. Pour les faibles profondeurs, le maximum à considérer sera donc tantôt $[C']$ et tantôt $C'' \cos \xi'$, mais pour des profondeurs suffisante, $C'' \cos \xi'$ sera seul à considérer. On a d'ailleurs

$$[C'] = \frac{e^{\theta (\text{arc tg } \theta - \xi' - \xi\pi)}}{\sqrt{1 + \theta^2}} [I] \sqrt{\frac{Ch \, 2p\beta - \cos 2q\beta}{Ch \, 2p\beta + \cos 2q\beta}}.$$

» Pour une valeur donnée de l'amortissement, la première partie

$$\frac{e^{\theta \text{ arc tg } \theta}}{\sqrt{1 + \theta^2}}$$

du coefficient de $[I]$ a une valeur déterminée qui va d'ailleurs en croissant constamment avec θ . Le reste du coefficient est le produit de deux expressions

$$e^{\theta \left(\text{arc tg } \frac{\sin 2q\beta}{Sh \, 2p\beta} - \xi\pi \right)} \sqrt{\frac{Ch \, 2p\beta - \cos 2q\beta}{Ch \, 2p\beta + \cos 2q\beta}}$$

que nous pouvons discuter séparément. Considérons d'abord l'exponentielle.

» Si on imaginait que $2q\beta$ aille en croissant sans que $p\beta$ varie, $\sin 2q\beta$ partirait de 0 pour arriver à 1, puis redescendrait de 1 à -1, remonterait de -1 à 1 et ainsi de suite indéfiniment. En tenant compte que $(\text{arc tg } \theta - \xi' - \xi\pi)$ doit rester constamment négatif, l'exponentielle oscillerait entre 1 et $e^{-\theta\pi}$ indéfiniment. Mais à mesure que $q\beta$ croît $p\beta$ croît aussi, et $Sh \, 2p\beta$ croît beaucoup plus vite. L'effet de cette augmentation de $Sh \, 2p\beta$ est de réduire de plus en plus l'amplitude des oscillations de l'exponentielle, dont la valeur, à une profondeur suffisante, ne s'écarte plus sensiblement de 1.

» Le premier maximum de $\sin 2q\beta$ a lieu pour

$$2q\beta = \frac{\pi}{2}$$

ce qui donne

$$2p\beta = \frac{\pi}{2} \frac{p}{q} = \frac{\pi}{2} p^2$$

$$Sh\ 2p\beta = \frac{e^{\frac{\pi}{2} p^2} - e^{-\frac{\pi}{2} p^2}}{2}.$$

» Pour un très fort amortissement ($\theta = 1$), on a

$$p^2 = \sqrt{2} - 1 = 0,414.$$

» Donc

$$\frac{\pi}{2} p^2 = 0,65$$

$$e^{\frac{\pi}{2} p^2} = 1,92$$

$$Sh\ 2p\beta = 0,7$$

tandis que pour un courant sinusoïdal, on aurait

$$Sh\ 2\beta = 2,4.$$

» Ceci montre que l'amortissement a un double effet, qui consiste d'une part à diminuer les épaisseurs auxquelles ont lieu les maxima et minima de $\sin 2q\beta$, et d'autre part, en diminuant $Sh\ 2p\beta$ à une profondeur donnée, à augmenter la valeur de l'arc tg et par conséquent l'amplitude des oscillations de l'exponentielle. Il faut remarquer d'ailleurs que, si la position des maxima et des minima successifs de l'exponentielle dépend d'une façon assez compliquée de $p\beta$, il n'en est pas de même de l'épaisseur qui sépare deux passages successifs par la valeur 1, et qui est simplement égale à $\frac{\pi}{2q}$, expression dont la valeur diminue très rapidement quand θ augmente.

» En somme, quand il n'y a pas d'amortissement, l'exponentielle est égale à 1; quand il y a de l'amortissement elle prend à mesure que la profondeur augmente des valeurs oscillantes, dont le premier minimum est d'autant plus grand que l'amortissement est lui-même plus grand, mais dont les écarts extrêmes vont constamment en diminuant à mesure que la profondeur augmente, et d'autant plus vite que l'amortissement est plus grand.

» Examinons maintenant le radical. Il se présente dans des conditions assez semblables aux précédentes. A mesure que la profondeur augmente $Ch\ 2p\beta$ va constamment en croissant; $\cos 2q\beta$ part de 1 et va en décroissant jusqu'à -1, puis en croissant jusqu'à 1 et

ainsi de suite. Dans les couches de première espèce, le radical va en croissant; dans les couches de seconde espèce il va en décroissant, du moins tant que $Ch\ 2p\ \beta$ n'est pas encore grand. Les limites de ces couches étant d'ailleurs les mêmes que celles que nous venons de trouver pour les valeurs 1 de l'exponentielle, il est inutile d'y insister.

» Dès que $Ch\ 2p\ \beta$ devient un peu grand par rapport à 1, ce qui se produit à une profondeur d'autant plus grande que l'amortissement est lui-même plus grand, on peut écrire le radical sous la forme

$$\sqrt{\frac{Ch2p\beta - \cos 2q\beta}{Ch2p\beta + \cos 2q\beta}} = \sqrt{1 - 2 \frac{\cos 2q\beta}{Ch2p\beta}} = 1 - \frac{\cos 2q\beta}{Ch2p\beta}$$

qui montre immédiatement comment se font les variations avec la profondeur.

» Cet examen montre combien est complexe l'effet de l'amortissement sur la répartition du courant et précise les indications qui ressortaient déjà de l'étude de la densité de courant.

» IX. — Nous pouvons maintenant chercher l'épaisseur z de ce que nous avons appelé la couche intéressée par le courant; il faut, non seulement que dans cette couche le courant $[C']$ ne diffère du courant total (I) que d'une petite quantité ϵ qu'on se fixera, mais encore qu'en augmentant la profondeur, on ne puisse trouver pour aucune valeur de r un courant maximum moindre que $[C']$.

» Cette seconde condition simplifie considérablement le problème en montrant que, dès qu'il y a un amortissement appréciable, cette valeur de z doit correspondre à un des minima de l'exponentielle que nous avons étudiée plus haut. Mais, avant de prendre ce cas général, nous allons résoudre le problème pour un courant purement sinusoïdal.

» On a donc ce cas tout simplement :

$$[C'] = [I] \sqrt{\frac{Ch2\beta - \cos 2\beta}{Ch2\beta + \cos 2\beta}} .$$

» Le radical sera évidemment d'autant plus voisin de 1 que $Ch\ 2\beta$ sera plus grand par rapport à 1. Il faut donc, pour que l'on

ait (C') très voisin de (I), que $Ch\ 2\beta$ soit assez grand et par suite que l'on puisse écrire

$$[C'] = [I] \left[1 - \frac{\cos 2\beta}{Ch 2\beta} \right] \geq [I] [1 - \varepsilon]$$

et par conséquent

$$\frac{\cos 2\beta}{Ch 2\beta} \leq \varepsilon$$

on sera certain de satisfaire à cette inégalité en prenant

$$Ch 2\beta = \frac{1}{\varepsilon}$$

c'est-à-dire, en raison de la petitesse de ε ,

$$e^{2\beta} = \frac{2}{\varepsilon}.$$

» Or nous avons donné plus haut un tableau des valeurs de

$$e^{-\beta} = \varepsilon'$$

dans différents cas. Il suffira donc, pour déterminer l'épaisseur qui comprend toute la couche intéressée, de se reporter à ce tableau et de chercher la valeur de ε'

$$\varepsilon' = \sqrt{\frac{\varepsilon}{2}}.$$

» Si on veut avoir l'épaisseur de la couche superficielle où circulent les 0,95 du courant total, par exemple, il faudra prendre

$$\varepsilon = 0,05$$

par conséquent

$$\varepsilon' = 0,16$$

et on voit que la profondeur de cette couche sera certainement inférieure à

1600 mètres	pour	$\omega =$	150
312	—	—	4000
6	—	—	10^7 .

dans le cas du sol de 66.10^{11} c. g. s de résistivité, les valeurs correspondantes étant

4,2 fois plus petites pour l'eau salée de résistivité 373.10^9 c.g.s.		
44000	—	le cuivre,
176000	—	le fer de perméabilité 100
10^6	—	le fer de perméabilité 3500.

» Passons maintenant au cas général où il y a de l'amortissement. La formule se simplifie précisément à cause des valeurs relativement grandes que prennent les exponentielles en $p\beta$.

» Remarquons d'abord que, si la condition doit être satisfaite en général pour $[C']$ et pour $C'' \cos \xi'$, en pratique il sera suffisant d'y satisfaire pour cette dernière valeur. En effet, pour avoir

$$C'' \cos \xi' = [I] \frac{Sh2p\beta}{Ch2p\beta + \cos 2q\beta}$$

$$= [I] \frac{1 - e^{-4p\beta}}{1 + e^{-4p\beta} + 2e^{-2p\beta} \cos 2q\beta} = [I] (1 - \varepsilon),$$

il faut que $e^{-2p\beta}$ et par conséquent $e^{-p\beta}$ soient petits.

» Dans ces conditions ξ' sera très voisin de zéro, $\cos \xi'$ sera très voisin de 1 et on aura également d'une manière approximative

$$\frac{e^{\frac{1}{2}(\arctg \theta - \frac{\pi}{2} - \xi')}}{\sqrt{1 + \theta^2}} < \frac{e^{-\frac{\pi}{2}}}{\sqrt{1 + \theta^2}} < 1.$$

» Donc $[C']$ arrivera à être plus petit que $C'' \cos \xi'$.

» Il nous suffira donc de remplir la condition

$$\frac{1 - e^{-4p\beta}}{1 + e^{-4p\beta} + 2e^{-2p\beta} \cos 2q\beta} \geq 1 - \varepsilon$$

ce qui peut s'écrire

$$e^{-2p\beta} (e^{-2p\beta} + \cos q\beta) \leq \frac{\varepsilon}{2}.$$

» On sera sûr d'avoir une limite supérieure de la profondeur minima nécessaire en donnant au cosinus sa valeur maxima, l'unité. On pourra dès lors négliger $e^{-2p\beta}$ devant 1 et la condition deviendra

$$e^{2p\beta} \geq \frac{2}{\varepsilon}$$

ce qui est la condition obtenue pour le courant sinusoïdal en remplaçant simplement β par $p\beta$, c'est-à-dire que la fraction du courant total circulant dans une couche superficielle (pourvu que cette frac-

tion soit voisine de 1) sera la même pour un courant amorti pour l'épaisseur $\frac{z}{p}$, qu'elle l'est pour l'épaisseur z dans le cas d'un courant sinusoïdal de la même fréquence.

» p décroissant de 1 à 0, lorsque θ croît indéfiniment, l'effet de l'amortissement sera d'augmenter l'épaisseur de la couche ; mais si on remarque que pour la valeur 1 de θ , qui constitue un amortissement très considérable, on a sensiblement

$$p = \frac{2}{3}$$

et que par conséquent les épaisseurs ne sont augmentées que de moitié, on voit que l'effet de l'amortissement n'est pas très important en pratique.

» X. — On peut, semble-t-il, résumer les résultats de cette étude de la manière suivante :

- » 1^o) La distribution est toujours superficielle ;
- » 2^o) La densité de courant va en diminuant et en se décalant à mesure que la profondeur augmente et peut se trouver en phase avec la densité superficielle pour diverses profondeurs ;
- » 3^o) Le courant compris entre le plan limite et un plan parallèle qui s'enfonce progressivement commence par augmenter, en passant ensuite par des valeurs oscillatoires dont l'amplitude est d'autant plus grande, mais correspondant à des épaisseurs successives d'autant moindres que l'amortissement est plus considérable. Ces oscillations sont d'ailleurs marquées avec une grande netteté dans les valeurs du courant données plus haut, pour les profondeurs correspondant aux valeurs $K \frac{\pi}{2}$ de β , où l'on remarque que le courant de la tranche est alternativement plus petit et plus grand que le courant total.

» A partir d'une certaine profondeur, d'autant plus grande que l'amortissement est considérable, ces oscillations deviennent insensibles, et le courant qui circule dans la tranche arrive à ne différer du courant total que d'une quantité décroissant exponentiellement et aussi petite que l'on veut.

» XI. — Il est intéressant, maintenant que la question de réparti-

tion du courant est élucidée, de calculer la valeur de la résistance du conducteur.

» Nous avons

$$E = RI + L' \frac{dI}{dt} + 2\pi \mu l \left[\sum_0^{\infty} \frac{a^{n+2}}{n+1} \frac{dw_n}{dt} - 2 \sum_0^{\infty} \frac{a^{n+2}}{(n+1)(n+2)(n+3)} \frac{dw_n}{dt} \right].$$

» Or on voit immédiatement que

$$a \sum_0^{\infty} \frac{a^{n+1}}{n+1} \frac{dw'_n}{dt} = \frac{a^2 \omega}{2\alpha} \omega'_0 \sum_0^{\infty} \frac{[2(i-\theta)]^{n+1} \alpha^{n+1}}{(2n+1)!} + (\theta-i) \frac{a\omega}{\lambda} I' \sum_0^{\infty} \frac{[2(i-\theta)]^{n+1} \alpha^{2n+2}}{(2n+2)!}.$$

» Ce qui, en se reportant à la valeur de $A + Bi$, peut s'écrire

$$\frac{a^2 \omega}{2\alpha} \omega'_0 [p Shp \alpha \cos q\alpha - q Chp \alpha \sin q\alpha + i(p Chp \alpha \sin q\alpha + q Shp \alpha \cos q\alpha)] + \frac{a\omega}{\lambda} I' (\theta-i) (Chp \alpha \cos q\alpha + i Shp \alpha \sin q\alpha - 1).$$

» De même la valeur de

$$\sum_0^{\infty} \frac{a^{n+2}}{(n+1)(n+2)(n+3)} \frac{dw'_n}{dt}$$

se ramène à la forme

$$\frac{\omega a^2}{4\alpha^3(i-\theta)} \omega'_0 [p Shp \alpha \cos q\alpha - q Chp \alpha \sin q\alpha + i(p Chp \alpha \sin q\alpha + q Shp \alpha \cos q\alpha) - 2\alpha(i-\theta)] - \frac{\omega a}{2\alpha^2 \lambda} I' [Chp \alpha \cos q\alpha + i Shp \alpha \sin q\alpha - 1 - \alpha^2(i-\theta)].$$

» En prenant les conjuguées, établissant l'expression de leur moyenne, remplaçant ω_0 et $\frac{dw_0}{dt}$ par leurs valeurs en fonction de I et effectuant les réductions, on arrive, sans autres difficultés que des longueurs d'écriture assez désagréables, à la formule très simple

$$E = RI + L' \frac{dI}{dt} + RI[\alpha q \sqrt{1+\theta^2} - 1] + \frac{2\pi \mu l a q}{\alpha \lambda} \frac{dI}{dt}$$

où a est infini, bien entendu.

» On en déduit immédiatement, pour la résistance et la self-inductance *effectives*, les valeurs

$$R_1 = R_2 q \sqrt{1 + \theta^2}$$

$$L_1 = L' + \frac{2\pi\mu laq}{\alpha\lambda}.$$

» Laissons de côté la self-inductance, qui n'a peut-être pas un sens bien net dans le cas considéré; la résistance est par contre des plus intéressantes et sa valeur peut s'écrire

$$R_1 = \frac{\rho l}{\alpha\lambda} a \sqrt{\frac{2\pi\mu\omega}{\rho}} q \sqrt{1 + \theta^2} = \frac{ql}{\lambda} \sqrt{2\pi\mu\omega\rho} \sqrt{1 + \theta^2}.$$

» XII. — On voit donc que, malgré la profondeur infinie du conducteur, la résistance (pour une bande de largeur finie) a une valeur finie, parfaitement déterminée, qui croît avec la résistivité, avec la fréquence, avec la perméabilité et avec l'amortissement, ce qui confirme complètement les déductions que nous avons tirées précédemment de l'étude de la densité de courant.

» L'effet de l'augmentation de fréquence et de perméabilité s'explique tout naturellement par la réduction d'épaisseur de la couche intéressée par le courant; mais on a plus de peine au premier abord à comprendre comment l'amortissement, dont l'existence semble avoir pour résultat d'augmenter cette couche, peut augmenter la résistance. On arrive cependant à se rendre compte de ce phénomène en se reportant à la variation de la densité de courant avec la profondeur. Cette densité de courant va en diminuant, mais aussi en se décalant constamment d'une courbe à l'autre, de sorte que le courant arrive à être de sens opposé au courant à la surface, d'abord lorsque

$$\xi_r = \xi_0 + q\beta = \xi_0 + \pi$$

et ensuite chaque fois que

$$q\beta = (2k + 1)\pi.$$

» Si donc on calcule le courant total dans la tranche superficielle de grandeur croissante, on ajoute et on retranche successivement des courants décroissants, dont les écarts sont d'autant plus grands que l'amortissement l'est lui-même. On conçoit donc aisément que l'augmentation d'amortissement puisse obliger à ajouter suffisam-

ment de tranches successives, bien que ces tranches soient plus minces, pour que la profondeur à laquelle on obtiendra le courant total à une quantité déterminée près soit plus grande lorsqu'il y a de l'amortissement que lorsqu'il n'y en a pas.

» Mais ce n'est pas cette condition qui détermine la résistance effective. Cette dernière expression dépend essentiellement de l'épaisseur de la tranche dans laquelle se trouve la première portion du courant, limitée par la courbe où le sens du courant se renverse et dont la profondeur est par conséquent donnée par

$$\beta = \frac{\pi}{q}.$$

» Si vraiment on pouvait considérer cette tranche isolée comme déterminant seule la résistance effective, cette quantité aurait pour expression

$$\frac{\rho l}{\lambda \frac{\pi}{q} \sqrt{\frac{\rho}{2\pi\mu\omega}}} = \frac{ql}{\lambda} \sqrt{\frac{2\mu\omega\rho}{\pi}}.$$

» Ce qui est, à un facteur $\pi\sqrt{1+\theta^2}$ près, précisément la valeur obtenue par le calcul complet.

» Il paraît assez évident *a priori* que la première tranche ne peut pas, à elle seule, déterminer la résistance, et que de là provient la présence de ce facteur complémentaire. Mais sans qu'il soit besoin de préciser davantage, il semble ressortir nettement de cet examen que l'augmentation de résistance avec l'amortissement doit provenir du resserrement, que produit l'amortissement, des tranches de courant successives.

» On pourrait être tenté, pour voir plus nettement l'effet de l'amortissement, de le pousser à l'infini, en faisant décroître inversement la fréquence, de manière à maintenir au produit $\theta\omega$ une valeur finie, déterminée. On aurait ainsi le cas du courant purement aperiodique, qui peut se traiter, soit par les formules précédentes en passant à la limite avec les précautions nécessaires, soit par le calcul direct.

» J'ai fait ces calculs, qui amènent à des résultats assez singuliers. Je ne vous les donnerai pas, parce qu'ils ne me paraissent pas pos-

séder un sens physique suffisamment défini, en raison des phénomènes de propagation.

» Lorsqu'on étudie le courant sinusoïdal, il s'établit au bout d'un certain temps un régime permanent, où les exponentielles de la propagation sont devenues négligeables, et qui est celui que nous étudions.

» Il n'en est déjà plus strictement ainsi pour le cas du courant périodique amorti, où nous n'étudions plus qu'un régime *quasi permanent*, auquel il faudrait en toute rigueur superposer les effets de propagation.

» L'expérience des lignes télégraphiques montre que ces effets de propagation sont négligeables sur les lignes courtes, et que sur les lignes longues ils ont pour résultat de ralentir, sans oscillations appréciables, l'arrivée au régime permanent. Nous pourrions donc appliquer les résultats que nous avons obtenus, à condition toutefois que l'amortissement ne soit pas trop élevé.

» Il est bien évident, en effet, que si le produit $\theta\omega$ est tel que le courant soit réduit à une valeur négligeable dans une durée de même ordre que celle des phénomènes notables de propagation qui suivent l'établissement du courant, ou plutôt l'établissement de la différence de potentiel aux électrodes, les résultats que nous aurons ne correspondront qu'à une partie insuffisante des phénomènes en jeu et seront illusoires.

» En particulier, l'application du potentiel à des électrodes planes indéfinies suppose, jusqu'à ce que ces électrodes soient individuellement équipotentiellles dans une région pratiquement suffisante comme étendue, une durée de propagation appréciable, qui peut être du même ordre que celle de la décharge apériodique, de telle sorte qu'il n'y a pas d'utilité à nous encombrer de ces nouveaux calculs.

» Il n'en serait pas de même pour le cas d'un conducteur de dimensions transversales limitées et de longueur pas trop grande. Le calcul du courant apériodique se fait simplement dans ce cas, offre un sens physique déterminé et présente un certain intérêt théorique. Mais, au lieu de s'appesantir sur ce cas, il est préférable d'examiner rapidement quelques conséquences des formules que nous venons d'établir pour le conducteur indéfini.

» On peut, en effet, tirer de l'étude que nous venons de faire quelques conséquences intéressantes. Je n'ai pas l'intention de les approfondir complètement, ce qui nous demanderait beaucoup trop de temps, mais je désire examiner brièvement quelques points qu'on peut en déduire sur la télégraphie sans fil, les orages et le retour par la terre.

» XIII. *Télégraphie sans fil.* — Il est établi par la pratique de divers systèmes de télégraphie sans fil :

» 1°) Que la transmission se fait mieux sur mer que sur terre ;
» 2°) Que la portée est d'autant plus grande que la fréquence est plus basse ;

» 3°) Et d'autant plus grande que l'amortissement est plus faible.

» Une des théories qui ont été proposées pour l'explication de la télégraphie sans fil consiste à lui adapter le mécanisme qu'on admettait, il y a peu de temps encore, pour la propagation du courant électrique dans les conducteurs : les ondes, qui se propageraient sphériquement dans un diélectrique indéfini, seraient concentrées dans le voisinage du conducteur, où elles dissiperait une partie de leur énergie.

» Les récepteurs de télégraphie sans fil seraient, dans cette hypothèse, dans une situation très analogue à celle des appareils télégraphiques ordinaires au bout de leur ligne métallique, et on pourrait admettre que, toutes choses égales d'ailleurs, il arriverait au récepteur une fraction de l'énergie émise au départ d'autant plus grande que la résistance intercalée serait plus faible.

» Si, en effet, E est la tension, R_l la résistance de la ligne et R celle du récepteur, la fraction de l'énergie utilisée dans le récepteur est, en régime permanent ou quasi-permanent,

$$\frac{R}{R + R_l}$$

qui, toutes choses égales d'ailleurs, est d'autant plus grande que R_l est plus petit.

» Or nous venons de voir que, pour le conducteur indéfini, et en admettant, ce qui ne paraît pas contestable, que la résistivité de l'eau de mer est notablement inférieure à celle du sol ordinaire

» 1°) R_l est plus grand pour le sol ordinaire que pour l'eau de mer ;

» 2°) R_1 est d'autant plus grand que la fréquence est plus élevée ;
» 3°) Et d'autant plus grand que l'amortissement est plus considérable.

» Il y a là un ensemble de coïncidences qui ne suffit pas, évidemment, à prouver l'exactitude de la théorie exposée plus haut, mais qui méritait, à ce qu'il me semble, d'être signalé.

» On m'objectera peut-être que la terre n'est pas un conducteur indéfini, au sens mathématique du mot, et que nous ne sommes pas dans le cas de filets de courants parallèles, puisque nous avons deux électrodes pratiquement punctiformes.

» L'objection relative aux dimensions finies du conducteur est facile à lever.

» Si nous supposons d'abord une épaisseur finie, il faudra introduire pour le plan limite inférieur une équation aux limites identiques à celle que nous avons employée pour le plan supérieur. Cela reviendra donc à superposer à la distribution établie précédemment une distribution symétrique par rapport au plan médian de la plaque. Pour peu que l'épaisseur totale soit assez grande pour que l'addition ainsi opérée soit insensible par rapport à la distribution dans la couche supérieure intéressée par le courant, il n'y aura pratiquement rien de changé.

» Il en est de même si le conducteur est limité par deux plans latéraux. Rien ne distingue ces plans latéraux du plan limite ; à partir de ces plans la densité de courant ira en décroissant plus ou moins rapidement, et il suffira qu'ils soient suffisamment écartés pour que la partie centrale reste pratiquement non troublée par leur introduction.

» L'objection relative aux électrodes punctiformes est aussi facile à lever, mais sa discussion trouvera mieux sa place un peu plus loin, dans l'étude du retour par la terre.

» XIV. *Orages.* — Une décharge orageuse sera le plus souvent oblique par rapport au sol. Le champ magnétique qu'elle produit sera donc décomposable en deux champs rectangulaires tendant à produire l'un des courants induits parallèles à la surface du sol, l'autre des courants induits perpendiculaires à cette surface. On pourra, en somme, considérer toute décharge comme la résultante

d'une décharge perpendiculaire et d'une décharge parallèle au sol.

» La décharge perpendiculaire au sol a pour résultat de porter un point du sol, lorsqu'elle le frappe, à un certain potentiel. Le reste du sol étant au potentiel zéro, il se produit dans tous les sens des courants oscillatoires qui se propageraient hémisphériquement si l'énergie ne se dissipait pas dans le sol par effet Joule. Je n'ai pas étudié ce cas, mais il ne me semble pas qu'il puisse différer considérablement, comme effets de pénétration, des résultats obtenus ci-dessus.

» La décharge parallèle au sol a pour résultat de créer dans le sol des courants induits qui rentrent directement dans le cas que nous venons d'étudier. Ces courants induits ont été fréquemment constatés au voisinage du sol et dans le sol même.

» Les cas où une décharge atmosphérique a illuminé tout ou partie des lampes à incandescence d'un réseau aérien sont certains et tout récemment encore j'ai eu occasion d'apprendre que dans un réseau aérien, à la suite d'une décharge orageuse qui n'avait pas touché les lignes, toutes les lampes de 10 bougies avaient leur filament brisé, tandis que toutes les lampes de 16 bougies et au-dessus étaient restées indemnes.

» Dans le sol, on sait depuis longtemps qu'un conducteur peut être foudroyé. Le courant induit par la décharge atmosphérique porte le conducteur dans cette région à un potentiel qui se propage presque instantanément tout le long du métal et crée ainsi avec le sol, à une certaine distance, des différences de potentiel qui peuvent être suffisantes pour amener des ruptures d'isolant. Le fait a été fréquemment constaté sur des câbles sous gutta que l'administration des télégraphes avait fait poser, il y a longtemps déjà, dans des conduites de ciment.

» Si on ne constate pas généralement de cas de foudroiement sur les câbles souterrains, c'est que la totalité, peut-on dire, de ces câbles est, soit armée de fer, soit placée dans des conduites de fonte qui font écran; nous avons vu, en effet, combien peu les courants oscillatoires peuvent pénétrer dans le fer.

» Pour se rendre un compte exact de cet effet d'écran, il faudrait connaître la fréquence et l'amortissement des décharges atmosphériques; je n'ai pu trouver aucune donnée sur ces deux quantités.

On pourrait se passer de la connaissance de l'amortissement, dont l'effet sur la pénétration n'est pas très considérable, mais l'absence de notion sur la fréquence empêche absolument d'obtenir des résultats qui ne soient pas purement approximatifs.

» On peut cependant se faire une idée approximative de cet effet d'écran en se rappelant que pour le fer de perméabilité 96, ce qui ne dépasse pas de beaucoup la perméabilité minima du fer, la pénétration est 176 000 fois plus petite que celle du sol, que nous avons considéré. Pour que la densité de courant cesse d'être appréciable dans le fer à 1 millimètre de profondeur, il faudrait qu'elle ne cesse de l'être qu'à 176 mètres dans le sol ce qui supposerait des fréquences de l'ordre de 2 500 à 3 000 périodes par seconde. Il ne paraît pas douteux que les fréquences des décharges atmosphériques ne soient *beaucoup* plus élevées que cela, et par conséquent les pénétrations beaucoup moindres.

» Si elles étaient de l'ordre de 1 600 000 périodes par seconde, la densité de courant serait insensible à 15 ou 20 mètres de profondeur dans un bon sol et 4 à 5 mètres sous l'eau de mer. Ceci pourrait faciliter l'explication de certaines explosions de torpilles de fond qui ont été constatées autrefois et auxquelles une explication d'origine atmosphérique paraît seule applicable.

» XV. *Retour par la terre.* — Il semble à première vue que ce cas, qui est très différent de celui que nous avons envisagé, puisque les électrodes y sont pratiquement des points au lieu d'être des plans parallèles indéfinis, ne puisse profiter en rien des résultats que nous avons obtenus et qu'il faille le calculer à part.

» Ce calcul serait d'ailleurs plus compliqué que ceux que nous venons de faire, puisque les surfaces équipotentiellles seraient un système de sphères au lieu d'être des plans parallèles. Il paraît d'ailleurs inutile en première approximation, si l'on tient compte des remarques suivantes.

» Les surfaces équipotentiellles (*fig. 7*) sont des sphères de rayon de plus en plus grand à mesure que l'on s'éloigne de chaque électrode, et qui viennent à égale distance des électrodes se confondre avec le plan perpendiculaire à la ligne qui les joint. Ces surfaces sphériques peuvent donc être confondues avec leur plan tangent

dans le voisinage du sol sur une étendue d'autant plus grande qu'elles sont plus éloignées de l'électrode la plus proche.

» Cette étendue ne sera jamais assez grande si on a affaire à un courant continu, mais pratiquement le courant continu n'est pas intéressant, car ses effets d'induction sont nuls et il est très facile, en prenant certaines précautions autour des électrodes, de se prémunir contre tout effet d'électrolyse. Si au contraire on a affaire à un courant alternatif, amorti ou non, la densité de courant ira en décroissant rapidement avec la profondeur, et dès qu'on ne sera plus dans le voisinage immédiat des électrodes, on pourra confondre la sphère avec le plan tangent dans toute la partie intéressante. Ceci ne s'applique, bien entendu, qu'aux lignes un peu longues, les seules qui soient intéressantes dans la pratique.

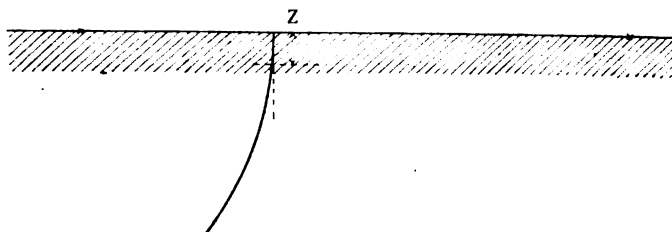


Fig. 7.

» Nous arrivons donc dans ce cas à remplacer en première approximation les surfaces équipotentiellles sphériques par un système de cylindres à base de circonférences et à génératrices perpendiculaires au plan limite. Là encore, nous pouvons remplacer chaque cercle par sa tangente au point où il rencontre la droite qui joint les deux électrodes, avec une erreur d'autant plus grande à un point donné que ce point est plus éloigné de la ligne de jonction et qu'il est plus rapproché d'une des électrodes. Mais ici encore nous pouvons remarquer que la densité de courant va en diminuant rapidement à mesure qu'on s'éloigne de la ligne de jonction, de sorte que l'erreur commise a d'autant moins d'influence sur le résultat.

» Nous arrivons ainsi, en laissant de côté les deux régions très voisines de chacune des électrodes, dont nous négligerons complètement l'influence, à remplacer les filets de courant sphériques par des filets plans où la densité de courant variera en profondeur dans

le sens que nous avons déterminé antérieurement et en largeur suivant une loi que nous allons déterminer. Nous pouvons faire cette approximation en raison de l'indépendance des filets latéraux les uns sur les autres, et du fait que la résistance effective est indépendante de la différence des potentiels et de l'intensité.

» Soit donc (fig. 8) λ la distance d'un filet de courant à la ligne de jonction, mesurée sur la perpendiculaire à cette ligne en son milieu. Ce filet de courant est un arc de cercle passant par le point λ et les deux électrodes, faisant à chaque électrode un angle φ avec la ligne de jonction. Le filet sera limité de l'autre côté par la

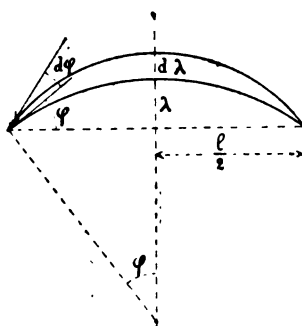


Fig. 8.

circconférence $\lambda + d\lambda$ faisant l'angle $\varphi + d\varphi$ et il contiendra une fraction du courant total I représentée par

$$\frac{Id\varphi}{2\pi}$$

en supposant que le courant soit régulièrement réparti autour de chaque électrode.

» On voit immédiatement, en envisageant le cercle considéré, et appelant l la distance des deux électrodes, que l'on a

$$d\varphi = \frac{4}{l} \cos^2 \frac{\varphi}{2} d\lambda.$$

» La longueur de l'arc de circonférence est d'ailleurs à prendre égale à l dans les conditions d'approximation où nous nous sommes placés.

» Dans ces conditions la perte joule dans ce filet aura pour valeur

$$2ql \sqrt{2\pi\mu\omega\varphi(1+\theta^2)} \frac{l^2}{\pi^2 l} \times \cos^2 \frac{\varphi}{2} \cdot d\varphi$$

et la perte joule totale s'obtiendra en intégrant cette expression de 0 à 2π , ce qui donne

$$\frac{q}{\pi^2} \sqrt{2\pi\mu\omega\rho (1 + \theta^2)} I^2$$

et montre que la résistance effective serait égale à

$$R_1 = q \sqrt{\frac{2\mu\omega\rho (1 + \theta^2)}{\pi^3}}.$$

» Une conséquence très remarquable de cette formule serait que la résistance effective aurait une valeur finie, non nulle, et indépendante de la distance, d'autant plus grande que la résistivité, la fréquence et l'amortissement seraient plus considérables.

» Les hypothèses simplificatrices que nous avons faites ont évidemment pour effet que ces résultats ne sont qu'approchés. Il est d'autant plus désirable que l'expérience vienne montrer quel est leur degré d'approximation, et j'espère que certains de nos collègues de la 5^e Section pourront dans quelque temps vous apporter des résultats d'essais sur cet intéressant sujet.

» XVI. — Il n'est pas inutile de chercher à se rendre compte de ce que peut être la résistivité du sol, en raison de l'importance qu'a ce facteur dans le problème qui nous occupe. Cette résistivité est évidemment des plus variables suivant la nature du terrain, puisque certaines roches sont pratiquement isolantes ; il en est de même, croyons-nous, de la plupart des bancs d'argile. Aussi, ce qui est intéressant, c'est de rechercher de quel ordre est la résistivité de ce qu'on peut appeler un bon sol, et d'avoir ainsi un chiffre qu'on pourra considérer, au moins comme ordre de grandeur, comme la résistivité minima du terrain solide.

» Or nous pouvons tirer un renseignement précieux des expériences faites à Lancey en octobre 1903 et dont notre ancien président M. Harlé nous a communiqué le compte rendu.

» Si on enfonce dans un sol homogène une électrode hémisphérique, les surfaces équipotentiellles seront évidemment des demi-sphères, par symétrie, s'il s'agit de courant continu. Si nous dési-

gnons par I le courant total, et par U le potentiel à la distance r du centre de l'électrode, nous aurons (fig. 9).

$$dU = - \frac{\rho I}{2\pi r^2} dr.$$

» C'est-à-dire

$$U = \frac{\rho I}{2\pi r'}$$

en supposant le potentiel nul à l'infini, c'est-à-dire en pratique à distance suffisante.

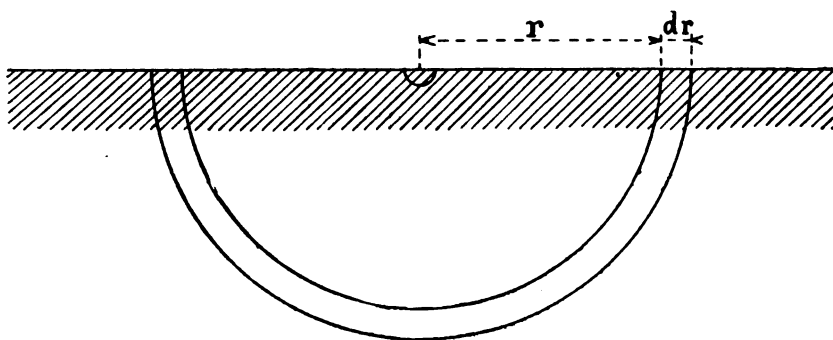


Fig. 9.

» Or à Lancey on a constaté que le potentiel se représentait parfaitement par la formule

$$U = \frac{2\ 200}{r'}$$

où r' est exprimé en mètres, l'intensité étant d'ailleurs égale à 210 ampères. Si nous transformons tout en *c.g.s.*, nous aurons

$$\frac{22 \cdot 10^{12}}{r'} = \frac{21\rho}{2\pi r'}$$

et par conséquent

$$\rho = 2\pi \times \frac{22}{21} \times 10^{12} = 66 \cdot 10^{11} \text{ c.g.s.}$$

ou si l'on veut 6600 ohms : cm.

» La résistivité du cuivre étant de 1,65 microhms : cm, on voit que celle de ce sol vaut sensiblement 4 milliards de fois celle du cuivre.

» Comme qualité de ce sol, il y a lieu de noter que les essais ont été faits dans la vallée moyenne de l'Isère, tout près du fleuve, dans un terrain d'alluvion où on trouve, si je ne me trompe, l'eau à une faible profondeur, et que de fortes averses se sont produites à plusieurs reprises pendant ces essais. On peut, à ce qu'il me semble, déduire de cet ensemble de conditions la conclusion que ce sol est un des meilleurs conducteurs qu'on puisse trouver, et que la résistivité moyenne d'une longueur suffisante de terrain sera à peu près certainement supérieure à 6000 ohms : cm.

» Si on adopte ce chiffre, on voit que la résistance du circuit de terre d'une ligne un peu longue sera de l'ordre de

$$10^{-9} \frac{2q}{\pi} \sqrt{6 \cdot 10^{12} N (1 + \theta^2)}$$

en ohms, N représentant la fréquence ; c'est-à-dire, s'il n'y a pas d'amortissement,

$$\frac{2\sqrt{6}}{3142} \sqrt{N} = \frac{1.56 \sqrt{N}}{1000}$$

Pour 625 périodes, cela ferait	0 ^{ohm} ,039
— 10 ⁶ —	 1 ^{ohm} ,56

» Un autre sol très important à étudier sur ce sujet est la mer. Je n'ai pas réussi à trouver de données précises sur la résistivité de la mer ; j'ai dû, par conséquent, me borner à rechercher quelle était la teneur de la mer en sel et à calculer d'après les aide-mémoires, et en extrapolant, quelle serait la résistivité d'une solution de chlorure de sodium ayant même dilution. Je suis arrivé ainsi à une résistivité de 373 ohms : centimètre.

« Étant donné la manière dont ce nombre a été obtenu, il ne présente pas un très grand caractère de certitude. Mais nous n'avons pas besoin d'une grande précision en la matière et on peut le considérer comme une approximation très suffisante pour ce que nous avons à en faire.

» XVII. — On pourra, pensons-nous, en partant des résultats que nous avons obtenus, arriver à résoudre le problème de l'induction d'une ligne à retour par la terre sur une autre avec une approximation suffisante pour la pratique, au moins quand ces

lignes ne seront pas très courtes. Ce problème s'était toujours heurté, jusqu'à présent, aux difficultés résultant de l'impossibilité de se rendre compte de la répartition du courant dans le sol; la localisation de ce courant dans une couche d'épaisseur relativement faible, sera, pensons-nous, de nature à faciliter cette étude.

» Mais il s'agit là d'un nouveau problème que nous n'aborderons pas, car il en résulterait une extension démesurée de cette communication déjà bien longue. Nous aurons peut-être occasion d'y revenir ultérieurement, mais pour aujourd'hui il sera préférable de ne point aborder cette tâche.

» Je tiens en terminant, Messieurs, à vous exprimer mes sincères remerciements pour la bienveillante attention que vous avez bien voulu m'accorder. »

M. le PRÉSIDENT remercie M. Brylinski.

THÉORIE DES ALLIAGES MAGNÉTIQUES DU MANGANÈSE

M. GUILLAUME. — « La découverte, toute fortuite, faite par M. Heusler, de la présence de propriétés magnétiques dans les alliages ne contenant que du manganèse, de l'aluminium et du cuivre, a provoqué, dans le courant de l'année 1904, un sentiment de vive curiosité, notamment parmi les physiciens et électriciens allemands. Non point que l'on s'attendit à voir sortir, de cette intéressante constatation, aucune application industrielle, au moins immédiate; car, si ces alliages sont un peu plus magnétiques que les fontes, au moins dans la période initiale, ils le sont beaucoup moins que le fer doux; de plus, ils n'ont ni assez d'hystérèse pour qu'on puisse en faire avec avantage des aimants permanents, ni assez peu pour fournir de bonnes tôles de transformateurs. Mais ils forment une famille nouvelle de corps magnétiques, qui ont semblé, pendant un instant, destinés à modifier profondément nos idées sur les causes du ferro-magnétisme, constaté jusqu'ici, avec une intensité comparable, seulement dans les trois métaux classiques du magnétisme, le fer, le cobalt et le nickel.

» Cependant, en y regardant de près, et en rapprochant d'autres faits connus, ceux qu'a découverts M. Heusler, on trouve bientôt qu'ils ne sont pas isolés; et si même on ne peut pas encore prétendre posséder au complet leur théorie, au moins peut-on affirmer que ces faits n'obligeront à aucune réforme des idées existantes.

» La découverte de M. Heusler était nouvelle en ce sens qu'il indiqua le premier l'existence du magnétisme dans un ensemble composé uniquement de métaux non magnétiques. Mais les mêmes phénomènes avaient été observés, en 1892, par M. Hogg, dans un alliage où la présence du fer empêcha de reconnaître la véritable nature du phénomène. Un ferro-manganèse non magnétique, auquel on ajouta de l'aluminium alors qu'il était en fusion, se liquata fortement et l'une de ses parties, qui contenait tout l'aluminium, était devenue magnétique. Ainsi M. Hogg avait déjà constitué l'un des alliages de M. Heusler, car, dans ces derniers, le cuivre ne joue

que le rôle d'un dissolvant ; mais il était naturel de penser à un retour du magnétisme du fer, et l'investigation en resta là.

» Les recherches de M. Heusler ont mis nettement en lumière ce fait, que, dans la série des alliages étudiés, le magnétisme est dû uniquement à la combinaison $MnAl$, et que le cuivre joue le rôle de dissolvant, rendant l'alliage malléable. Les essais montrèrent, de plus, qu'une deuxième combinaison Mn^3Sn , est également magnétique, et fournit, par son mélange avec le cuivre, des alliages analogues à ceux de la première série.

» Dans l'une comme dans l'autre, la susceptibilité magnétique baisse en même temps que la proportion de cuivre augmente. La température de transformation s'abaisse dans le même sens, c'est-à-dire que les alliages en question perdent leurs propriétés magnétiques à une température d'autant plus basse qu'ils contiennent plus de cuivre.

» Le bismuth, l'arsenic, l'antimoine, le bore, ajoutés au manganèse donnent aussi des alliages magnétiques, quoique moins que les précédents. Ces alliages ont aussi été moins étudiés que ceux de la série principale.

» Tels sont, en court résumé, les faits nouveaux découverts par M. Heusler, étudiés par MM. Haupt et Stark, et dont je vais essayer de donner au moins une ébauche de théorie. Leur simple énumération met en lumière un facteur essentiel des phénomènes constatés ; tous les alliages magnétiques des nouvelles séries contiennent du manganèse ; c'est donc ce métal qui semble jouer le rôle principal, les autres étant ou des excitants ou de simples dissolvants. C'est à cette idée que je reviendrai dans un instant.

» *Transformations des corps.* — On distinguait autrefois trois états bien distincts de la matière ; puis Van der Waals enseigna que l'on passe, d'une façon continue, du liquide au gaz, tandis qu'une foule d'expériences journalières nous montrent à l'évidence que la ligne de démarcation entre les solides et les liquides est, en général, extrêmement difficile à tracer. Suivant les forces que l'on fait agir sur les corps et les quantités que l'on considère, une même substance, prise à la même température, pourra, tout en restant dans les définitions classiques, être considérée comme solide ou liquide. Et,

pour un grand nombre de corps, l'élévation graduelle de la température fera passer insensiblement du solide au liquide sans qu'on puisse dire à aucun moment que la rigidité a changé brusquement. Ces corps sont ceux qui subissent la fusion pâteuse, qui n'est autre qu'une diminution graduelle de la rigidité et de la viscosité.

» Cependant, il existe des corps qui passent brusquement de l'état solide à l'état liquide; et une étude statistique montre que ces corps sont cristallisés au-dessous de leur point de fusion. Le passage de l'état cristallin à l'état fluide est donc brusque, et là on aperçoit une discontinuité réelle. Mais il n'est pas nécessaire, pour que la discontinuité existe, que le corps soit fluide dans le sens ordinaire du mot, après que l'état cristallin a disparu. Il peut encore, tout en étant amorphe, rester suffisamment visqueux et résistant à l'effort pour nous donner l'impression d'un corps très solide. Tels sont les verres, ou le quartz vitreux.

» On trouve aussi une brusque transformation lorsqu'un corps passe d'un état cristallin à un autre état cristallin, parce qu'il est entré dans une région de températures et de pressions où le premier état est instable et où le second est stable.

» Toutefois, l'étude des transformations de cette nature n'est pas très facile, et leur connaissance est beaucoup moins classique que celle du passage de l'état solide cristallin à l'état fluide amorphe. C'est dans ce dernier que l'on trouve les exemples les plus familiers de transformation.

» *Températures de transformation.* — Nous savons que l'addition, en petite quantité, d'un corps à un dissolvant abaisse en général sa température de solidification. L'eau salée se congèle plus bas que l'eau pure. Mais, lorsqu'il se forme une combinaison chimique, il n'existe plus aucune règle sur les températures de transformation. Les températures de solidification du chlore et du sodium, par exemple, sont relativement basses, celle du chlorure de sodium très élevée.

» Les métaux, dans leurs combinaisons mutuelles, présentent, d'une façon continue, des exemples de dissolutions et de combinaisons dans lesquelles les points de fusion sont abaissés ou élevés sans règle apparente. Cependant, en y regardant de près, des lois

très simples, au moins dans leurs lignes générales, deviennent évidentes.

» Voici ce qu'une étude approfondie des alliages a enseigné comme faits généraux : deux métaux fondus ensemble peuvent, en général, former une série de combinaisons définies, qui existent seules ou à peu près seules lorsque les métaux ont été mélangés dans des proportions qui donnent une des combinaisons possibles. Mais, si les proportions sont quelconques, il se forme une ou quelquefois deux combinaisons définies, mélangées entre elles. Ou bien

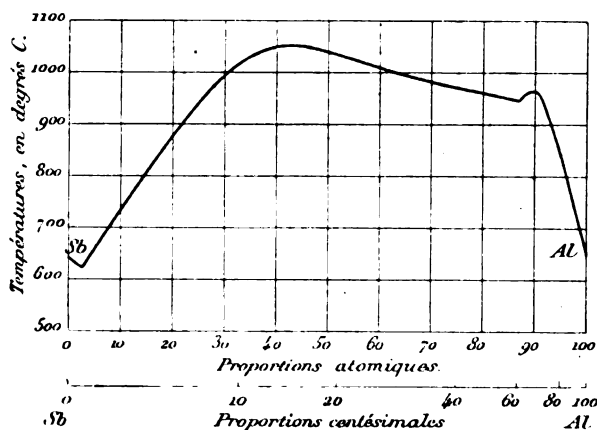


Fig. 1.

aussi une seule combinaison existe, mélangée au métal en excès.

» Cette idée théorique permet de prévoir en gros quelle pourra être l'allure de la courbe de fusion des alliages de deux métaux. Partant du métal A, on verra la courbe de fusion s'abaisser par le phénomène cryoscopique ordinaire; puis, après un rebroussement, elle remontera vers un maximum, correspondant à une combinaison définie qui, en dissolvant, à droite ou à gauche, le métal A ou le métal B, verra son point de fusion s'abaisser. Un second rebroussement pourra amener dans le domaine d'une deuxième combinaison définie, qui présentera les mêmes phénomènes d'abaissement à partir du maximum.

» Dans la plupart des séries d'alliages, les températures de fusion des combinaisons sont plus basses que celles des métaux purs; c'est une coïncidence qui a passé longtemps pour une loi, mais dont aucun principe n'indique la nécessité.

» Effectivement, dans ces dernières années, on a trouvé plusieurs exemples d'alliages beaucoup moins fusibles que les composants. D'abord l'alliage Al^2Au , qui fond à 17 degrés au-dessus du point de liquéfaction de l'or. Puis la combinaison $AlSb$, isolée en 1892 par M. Wright, et dont la température de fusion, déterminée par M. Gautier, est de 400 degrés supérieure à celle du moins fusible des constituants (*fig. 1*).

» Ici, c'est la combinaison définie qui gouverne toute l'allure de la courbe de fusion. L'antimoine et l'aluminium se dissolvent dans cette combinaison et abaissent sa température de fusion pour atteindre,

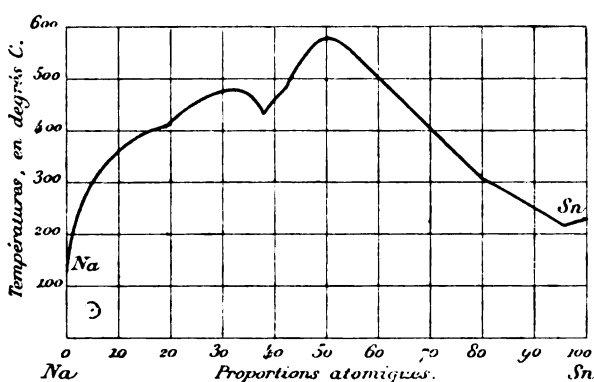


Fig. 2.

après quelques remontées, indiquant des combinaisons secondaires, la température de liquéfaction des composants.

» Une autre courbe très intéressante, étudiée récemment par M. Mathewson, nous montre la combinaison $NaSn$ occuper le sommet d'une ligne qui atteint la cote 576 degrés environ (*fig. 2*), tandis que le moins fusible des constituants, l'étain, passe à l'état liquide à 232 degrés.

» Notons que les alliages étudiés jusqu'ici, dans lesquels la température de fusion est beaucoup plus élevée que celle des constituants, contiennent de l'aluminium ou de l'étain. Or ces deux métaux se rencontrent dans les deux séries principales des alliages magnétiques de M. Heusler. C'est une deuxième coïncidence qu'il est intéressant de noter.

» *Les transformations magnétiques.* — On sait que les métaux

ferro-magnétiques ne le sont pas à toutes les températures. Le fer, le nickel et le cobalt éprouvent, à des températures déterminées, des transformations qui affectent toutes leurs propriétés, et les font passer de l'état ferro-magnétique à l'état faiblement magnétique ou inversement. Pour le fer, ces variations du magnétisme ont été admirablement étudiées par notre très regretté collègue P. Curie, dans un travail depuis longtemps classique.

» En même temps qu'il passe à l'état faiblement magnétique, le fer change d'état cristallin, comme l'ont montré MM. Osmond et Cartaud ; il se contracte, ainsi que l'ont vu M. Le Chatelier et MM. Charpy et Grenet ; son module d'élasticité s'élève brusquement, ainsi que je l'ai déduit de l'étude des alliages du fer avec le nickel. Bref, le fer, qui est un corps défini d'un côté de la transformation, en est un autre lorsque celle-ci est effectuée. Et les propriétés mécaniques de ces deux modifications du fer sont si différentes que d'importantes applications industrielles sont fondées sur la conservation, aux températures ordinaires, du fer γ , ainsi que M. Osmond a désigné le fer tel qu'il se trouve à l'état stable à une température supérieure à 890 degrés, lorsqu'il est isolé. On peut, en effet, par des additions convenables de chrome, de carbone, de manganèse, de nickel, abaisser tellement la température de transformation du fer, qu'il reste, à la température ordinaire, à l'état γ , auquel il est d'une extraordinaire ténacité (L. Dumas).

» Cet abaissement de la température de transformation du fer se retrouve dans le nickel, dont les alliages avec le cuivre, le chrome, le manganèse et une foule d'autres métaux, sont non magnétiques à la température ordinaire.

» Mais le relèvement de la température de transformation est plus rare. On le rencontre cependant dans les alliages fer-nickel, en partant de ce dernier. La courbe de transformation s'élève jusqu'à un maximum, correspondant sensiblement à la combinaison Fe^2Ni , puis s'abaisse lorsqu'on ajoute du fer.

» Donc, si, dans le cas du magnétisme, l'abaissement des températures de transformation est la règle, le phénomène contraire peut aussi se produire, notamment lorsqu'on se trouve en présence d'une combinaison définie.

» *Le magnétisme du manganèse.* — Le manganèse et le chrome complètent le groupe chimique auquel appartiennent les trois métaux ferro-magnétiques ; et Faraday avait déjà pensé que ces deux métaux sont réellement de nature magnétique, mais que leur température de transformation est située trop bas pour qu'on ait pu l'atteindre.

» Les expériences de ces dernières années ont fortifié cette hypothèse de Faraday. Les sels de manganèse et de chrome sont aussi magnétiques que les sels de fer ; et des expériences faites sur du manganèse très pur ont montré qu'il est magnétique de manière appréciable.

» Dès lors les propriétés magnétiques du manganèse pourraient apparaître si sa température de transformation était suffisamment remontée par sa combinaison avec des métaux appropriés.

» Il suffit maintenant, pour comprendre l'existence des alliages magnétiques au manganèse de nous souvenir que l'aluminium et l'étain, qui font une partie intégrante de ces alliages, sont précisément ceux que l'on a vu former avec l'or, l'antimoine ou le sodium des alliages à température de fusion élevée⁽¹⁾. Cette propriété de relèvement des températures de fusion se retrouverait pour le magnétisme, et serait dès lors une propriété générale d'élévation des températures de transformation.

» Il resterait à expliquer pourquoi ces métaux possèdent cette propriété, que l'on trouvera probablement partagée par une série d'autres ; ou tout au moins, à mettre cette propriété particulière en relation avec d'autres qualités connues de ces métaux. On y arrivera sans doute avant longtemps ; pour le moment il s'agissait

(1) Le magnésium, très voisin de l'aluminium par l'ensemble de ses propriétés, possède également celle de former des combinaisons à température de fusion élevée avec l'antimoine (max : pour 961 degrés Sb^2Mg^2) et le bismuth (max : 715 degrés Bi^2Mg^3). Ses alliages avec le zinc accusent une forte remontée à partir des eutectiques ; le maximum, obtenu pour $MgZn^2$ est à 595 degrés, température inférieure à celle de fusion du magnésium, mais très supérieure à celle à laquelle se produit la fusion du zinc (Grubo). Si la théorie exposée ci-dessus est exacte, on devra donc trouver aussi dans les combinaisons de manganèse avec le magnésium (probablement $MnMg$), des alliages magnétiques à la température ordinaire ou peu au-dessous. Il serait également intéressant de faire la même recherche sur la série des alliages du chrome.

surtout de montrer que l'existence du magnétisme dans les alliages du manganèse n'est nullement un fait mystérieux ou paradoxal. »

M. le PRÉSIDENT remercie M. Ch.-Ed. Guillaume.

COMMANDE ÉLECTRIQUE A DISTANCE PAR LES ONDES HERTZIENNES. APPLICATION A LA COMMANDE D'UN SOUS-MARIN TORPILLEUR

M.. DEVAUX. — « Nous allons exposer une nouvelle application des découvertes relatives aux ondes hertziennes et parallèlement un nouveau type d'appareil de commande électrique à distance, sans fil, lequel peut d'ailleurs fonctionner aussi avec fils.

» Les ondes hertziennes ont été jusqu'ici, le plus souvent, utilisées au fonctionnement d'un électro-aimant dont l'armature s'emploie à l'inscription de signaux Morse; c'est la télégraphie sans fil. Mais le mouvement de cette armature peut évidemment servir aussi au déclenchement d'une force empruntée à un organe voisin.

» Les schémas actuels ne permettraient d'effectuer avec ce seul électro, au maximum, que deux commandes alternatives utilisant les deux positions — repos et attirée — de l'armature. Pour effectuer une série de manœuvres indifférentes les unes par rapport aux autres, il faudrait disposer d'autant d'électros que de commandes; ce serait possible, mais compliqué, s'il s'agit de transmissions par fils; mais dès qu'on entre dans la transmission sans fil cela n'est plus possible, attendu qu'on n'a pas encore pratiquement obtenu la parfaite différenciation de plusieurs circuits montés sur autant de cohéreurs en un même point.

» Aussi, nous étant posé le problème de pouvoir mettre en œuvre à distance, sans fils, une série de forces quelconques, agissant dans un ordre toujours variable, et restant indépendantes les unes des autres, avons-nous dû étudier un dispositif nouveau d'appareils de commande.

» Ces appareils de commande seront asservis aux fermetures du cohéreur dans la transmission sans fil et pourront donc — cela est bien évident — servir également dans les commandes par fils; ils présentent dans ce dernier cas l'avantage de ne nécessiter qu'un conducteur, la terre formant le retour pour un appareil capable de desservir n circuits, chacun d'eux pouvant être fermé sans nécessiter un trouble quelconque des autres.

- » Ce système consiste essentiellement en :
- » 1° Un distributeur courant sur tous les plots d'où partent les circuits à commander ;
 - » 2° Un commutateur ne lançant le courant que lorsque le précédent distributeur a atteint le circuit seul que l'on désire fermer.

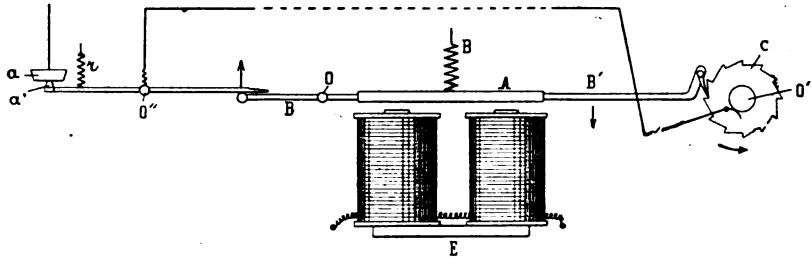


Fig. 1.

» Pour réaliser cette double fonction, un électro *E* (*fig. 1*), peut attirer une armature *A* maintenue par le ressort antagoniste *R* et pivotant en *O*. Cette armature se prolonge de chaque côté par les bras *B* et *B'*. Le bras *B'*, muni d'un cliquet, attaque la roue à rochet *C*

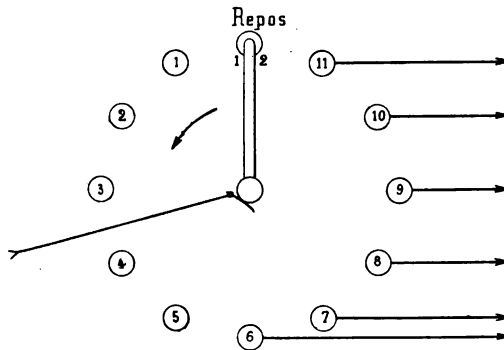


Fig. 2.

portant l'axe *O'* du distributeur et la fait avancer d'une dent à chaque excitation de l'électro. Le bras *B* vient frapper à chaque excitation sur l'extrémité du levier *L* articulé en *O''* et formant commutateur en *aa'*.

» Dans le prolongement de l'axe *O'* on rencontre un bras *D* (*fig. 2*) dont l'autre extrémité frotte sur la série des plots 1. 2. 3..... 12 — et permet ainsi de distribuer le courant amené par l'axe *O'* sur ces douze diverses positions et les circuits qu'elles représentent.

L'avancement du distributeur est d'un plot à chaque excitation de l'électro E .

» Les excitations de cet électro dépendent directement du poste d'émission, que le conducteur soit un fil ou un train d'ondes hertziennes agissant sur un cohéreur; on peut régler l'organe manipulateur en sorte que ces émissions soient régulières et conservent un rythme $\frac{1}{t}$.

» La deuxième fonction de l'appareil est exercée, avons-nous dit, par un commutateur spécial. A cet effet, le bras B , vient à chaque attraction de l'armature A , conduire le levier L (*fig. 3*) hors de sa

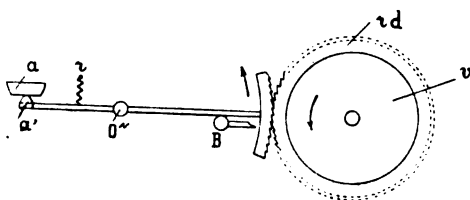


Fig. 3.

position de repos et ainsi couper le contact aa' . Tant que bat cette armature A , le levier L est donc constamment rejeté hors de la position circuit fermé, mais tend à y revenir sous la tension du petit ressort r . Il pourrait donc se faire qu'il puisse tomber un temps très court au contact en aa' ce que nous voulons éviter; à cet effet nous retardons considérablement le temps de sa chute, par l'artifice suivant. L'extrémité opposée au contact aa' est munie d'une petite crémaillère qui, glissant devant la roue dentée rd , vient s'engrener sur cette denture quand le levier L est hors de sa position; pendant le retour de ce levier la crémaillère entraîne la roue dentée, mais cette roue, alourdie par le volant v , peut acquérir une inertie réglable et, par suite, imposer à la chute du levier L un temps appréciable. Il suffira, en pratique, que ce temps t' soit notablement plus élevé que le terme t du rythme de l'armature A , par exemple $2t$.

» Pendant la série des battements de l'armature et l'avancement du distributeur, le commutateur reste donc à circuit ouvert; seulement quand l'armature est arrêtée et conséquemment le distributeur

arrivé au point convenable, le commutateur prend le temps de tomber au contact.

» Le fonctionnement apparaît donc très facilement :

» L'appareil est au repos, le bras *D* repose sur le plot 12, qui étant un plot mort constitue la position de repos, le 0 de l'appareil. Le levier *L* ferme le circuit en *a a'*; nous voulons fermer le circuit 7 sans affecter aucun des autres.

» Il suffit au poste émetteur d'envoyer 7 courants ou 7 trains d'ondes au rythme $\frac{1}{t}$; l'électro *E* battra 7 fois à cette fréquence et fera avancer la roue à rochet *C* de 7 dents, par suite le bras *D* viendra sur le plot 7. Mais en même temps, le même fonctionnement de l'électro *E* a tenu ouvert le commutateur, comme nous l'avons expliqué plus haut. Ce commutateur ne va tomber qu'à l'arrêt de l'électro *E*, c'est-à-dire qu'il ne fermera le circuit que lorsque le distributeur sera arrivé sur le plot 7 que l'on s'était fixé. Précédemment il était ouvert pendant que le distributeur cheminait sur les plots précédents.

» On a donc fermé le circuit 7 sans avoir compromis l'indépendance des circuits précédents.

» Veut-on maintenant envisager la fermeture de plusieurs circuits concurremment, il faut pour cela que le distributeur soit toujours libre de se déplacer sans interrompre la fermeture d'un circuit en travail; il suffit que les circuits 1, 2, 3..... 12 soient fermés sur des relais verrouillés, lesquels alors commandent directement l'organe à mettre en œuvre, ces relais sont et resteront fermés dès que l'appareil de commande les aura fermés, leur ouverture dépendra d'une commande connectée à un des plots.

» La figure 4 donne le montage d'un appareil de commande électrique à distance sans fil, il est simplement connecté aux lieux et place d'un appareil Morse dans un poste de télégraphie sans fil.

» Nous avons appliqué ces dispositifs à la commande en mer d'un torpilleur sous-marin, il nous fallait réaliser les manœuvres suivantes :

- » 1° Mise en marche avant;
- » 2° Mise en marche arrière;
- » 3° Stop Moteur Propulsion;
- » 4° Barre à gauche;

- » 5° Barre à droite ;
- » 6° Stop Moteur Direction ;
- » 7° Allumage de signaux vers l'avant ;
- » 8° Allumage de signaux vers l'arrière ;
- » 9° Lancement de la torpille.

» Notre appareil était à 12 commandes, il présentait donc 3 points de repos, répartis parmi la série des plots. La vitesse d'obéissance des appareils nous a permis de faire un tour complet du distributeur en 2 secondes.

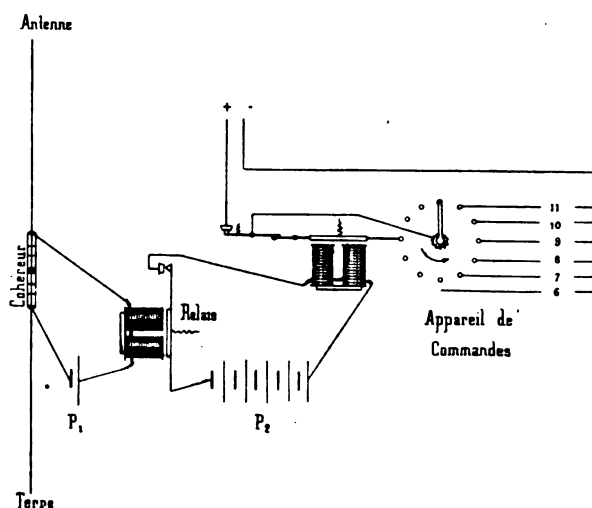


Fig. 4.

» Les 9 circuits de manœuvre se fermaient sur 7 relais verrouillés qui commandaient les moteurs de propulsion et de direction, les lampes signaux, l'appareil de lancement de la torpille.

» L'énergie locale était constituée par une batterie Fulmen, 450 ampères heures, débitant au maximum 100 ampères ce qui assurait 4 heures de marche de l'engin.

» L'engin, qui déplaçait 6 700 kilogs, était constitué par deux cylindres en tôle, aux extrémités coniques, reliés l'un à l'autre par de fortes entretoises. Le cylindre supérieur (longueur 9 mètres, diamètre 45 centimètres) servait de flotteur à l'ensemble, il supportait en outre deux petits mâts auxquels étaient fixées : 1° une antenne réceptrice à 5 brins de 3 mètres de haut ; 2° des lampes s'allumant

pour les sorties de nuit. Les mâts et leurs lampes servant ainsi à déterminer l'alignement et la distance de l'engin.

» Le cylindre inférieur (longueur 11 mètres, diamètre 1 mètre), renfermait : le tube lance-torpille et sa torpille Whitehead 450 millimètres, la batterie d'accumulateurs, les moteurs de propulsion et de direction et leurs accessoires.

» L'appareil de commande devrait se trouver dans le cylindre inférieur abrité contre le tir ennemi par 2 mètres d'eau, mais pour faciliter la surveillance durant les essais il était dans un caisson en tôle porté par le cylindre supérieur.

» Le poste de commande, situé à terre, était muni d'une antenne de 15 mètres, à 5 brins.

» Les essais ont eu lieu dans un rayon de 400 à 1 800 mètres, distance que nous n'aurions pu dépasser sans compromettre les essais parallèles d'un nouveau procédé d'accord, lequel nous a pleinement réussi jusqu'ici, mais est trop neuf encore pour que nous en parlions maintenant.

» Ces essais ont eu lieu de janvier à mars 1906, au large du port d'Antibes (Alpes-Maritimes), et nous ont donné toute satisfaction tant au point de vue nautique que communication sans fil. Nous pouvons donc dire qu'il est maintenant facile de monter des postes de commande électrique à distance, sans fil, avec la même sécurité et sans plus de complications que les postes de télégraphie.

» Nous avons en outre mis au point cette application à la commande d'un sous-marin sans équipage, ce qui peut, au point de vue purement militaire, présenter de multiples avantages. »

M. le PRÉSIDENT remercie M. Devaux.

La séance est levée à 10 h. 10 du soir.

LISTE DES OUVRAGES

OFFERTS A LA SOCIÉTÉ INTERNATIONALE DES ÉLECTRICIENS

(Suite.)

**La Bibliothèque est ouverte aux Membres de la Société, tous les jours
de 2 heures à 5 heures, excepté les dimanches et jours de fêtes.
12, rue de Staël.**

France.

- Analyses des métaux par l'électrolyse*, par A. HOLLARD et L. BERTIAUX. Paris, H. Dunod et E. Pinat, 1906; un vol. in-8 broché. (*Don des éditeurs.*)
- Conférences d'électricité industrielle* (2^e et 3^e année). *Mesures électriques. Dynamos et moteurs à courant continu*, par A. BEGHIN. (Publications de l'Ecole Nationale des Arts industriels de Roubaix.) Roubaix, Henri Sénécaut, Paris, H. Dunod et E. Pinat, 1906; un vol. in-4, broché. (*Don des éditeurs.*)
- Éclairage (L')*, par ADRIEN VEBER (Bibliothèque des services publics municipaux et départementaux). Paris, H. Dunod et E. Pinat, 1906; un vol. in-8, broché. (*Don des éditeurs.*)
- Électrometallurgie (L') des fontes, fers et aciers*, par CAMILLE MATIGNON. Paris, H. Dunod et E. Pinat, 1906; un vol. in-8, broché. (*Don des éditeurs.*)
- Manuel pratique du télégraphiste et du téléphoniste*, par H. DE GRAFFIGNY. Paris, H. Desforges, 1906; un vol. in-8, broché. (*Don de l'éditeur.*)
- Mécanique (La) des phénomènes fondée sur les analogies*, par M. PETROVITCH. (Collection *Scientia*, n^o 27.) Paris, Gauthier-Villars, 1906; un vol. in-8 écu, cartonné toile. (*Don de l'éditeur.*)
- Préfecture de la Seine. Ville de Paris. Régime futur de l'électricité. Mémoire du préfet de la Seine au conseil municipal*. Paris, Librairies-Imprimeries réunies, 1906; un vol. in-4, broché. (*Don du Préfet de la Seine.*)
- Règles normales de l'association des électriciens allemands (Verband deutscher elektrotechniker)*, pour la comparaison et l'essai des machines et transformateurs électriques, suivies des Commentaires de G. Dettmar, ingénieur en chef. Traduit de l'allemand avec l'autorisation des auteurs et de l'éditeur, par

F. LOPPÉ et A. THOUVENOT. Paris, H. Dunod et E. Pinat, 1906; un vol. petit in-8, broché. (*Don des éditeurs.*)

Théorie analytique de la chaleur, par J. BOUSSINESQ. Tome I. Paris, Gauthier-Villars, 1901; un vol. in-8, broché. (*Don de l'éditeur.*)

Étranger.

Die Theorie, Berechnung und Konstruktion der Dampfturbinen, von GABRIEL ZAHIKJANZ. Berlin, Verlag von M. Krayn, 1906; un vol. in-8, broché. (*Don de l'éditeur.*)

BULLETIN
DE LA
SOCIÉTÉ INTERNATIONALE
DES
ÉLECTRICIENS.

SOMMAIRE.

Admissions de Membres titulaires, p. 318. — Les méthodes de mesure dans la télégraphie sans fil (M. Tissot), p. 319. — Mesures de sécurité à conseiller pour l'exploitation des réseaux à courant alternatif (résumé des discussions de la Société) (M. Grosselin), p. 343.

INFORMATIONS, p. 361.

BIBLIOGRAPHIE, p. 362.

OUVRAGES OFFERTS, p. 363.

COMPTE RENDU

DE LA

RÉUNION ORDINAIRE MENSUELLE

du mercredi 4 juillet 1906 ⁽¹⁾.

PRÉSIDENCE DE M. L. POINCARÉ, Vice-Président.

La séance est ouverte à 8^h40^m du soir.

Le procès-verbal de la réunion mensuelle est adopté.

Il est donné connaissance des Ouvrages offerts à la Bibliothèque (voir p. 363), et des demandes d'admission suivantes :

⁽¹⁾ La Société n'est pas solidaire des opinions émises par ses membres dans les discussions, ni responsable des Notes ou Mémoires publiés dans le *Bulletin*.

MM.

Aubry (Jacques-Malo-Jules), ingénieur électricien de la *Société Normande d'électricité*; 45, boulevard Saint-Hilaire, à Rouen (Seine-Inférieure). — Présenté par MM. Azaria et Bizet.

Cassegrain (Fernand), ingénieur à la *Maison Sautter Harlé et C^{ie}*; 11, avenue Rapp, à Paris. — Présenté par MM. Armagnat et Sacquet.

Compagnie centrale d'éclairage par le gaz (Eugène Lebon et C^{ie}); 26, rue de Londres, à Paris. — Présentée par MM. Hillairet et Picou.

Darnal (François), ingénieur attaché à la *Maison Bréguet*; 11, rue Léopold-Robert, à Paris. — Présenté par MM. Brunswick et Jouvenel.

Féder (Emile-Louis), ingénieur aux *Mines de Liévin*; à Liévin (Pas-de-Calais). — Présenté par MM. Desombre et Schwarberg.

Herrero (Wilfred-Miguel), ingénieur à la *Société Parisienne pour l'industrie des chemins de fer et tramways électriques*; à Jeumont (Nord). — Présenté par MM. Legouez et della Riccia.

Ces candidats sont élus membres titulaires de la Société internationale des Électriciens.

M. le PRÉSIDENT annonce l'envoi par M. le général Sebert d'un exemplaire du *Manuel complet du Répertoire bibliographique universel* et d'une lettre dans laquelle il exprime le désir que soit entreprise, d'après ce plan général, la publication des Tables du *Bulletin de la Société internationale des Électriciens*.

L'ordre du jour appelle les Communications techniques.

LES MÉTHODES DE MESURE DANS LA TÉLÉGRAPHIE SANS FIL.

M. C. TISSOT. — « Dans tous les systèmes de télégraphie sans fil une antenne d'émission, excitée directement ou indirectement, émet des ondes électriques qui, reçues par un conducteur analogue, ou antenne réceptrice, sont décelées par un détecteur convenable.

» D'une manière générale, l'appareil transmetteur, dont l'organe essentiel est l'antenne d'émission, est un oscillateur hertzien; l'appareil récepteur, dont l'organe essentiel est l'antenne de réception, est un résonateur.

» Un oscillateur et un résonateur se trouvent définis en principe quand on connaît les valeurs respectives de leurs périodes et de leurs amortissements.

» En fait, bien que la seule connaissance de ces constantes ne puisse suffire à permettre de calculer *a priori* l'effet d'un système donné de transmission à distance, ce sont ces éléments qui jouent le rôle le plus important dans les échanges d'énergie par ondes hertziennes.

» La théorie de la résonance montre que, si les périodes propres des systèmes sont peu différentes et les amortissements faibles, l'expression de l'énergie mise en jeu dans le système récepteur a pour terme principal

$$I = \frac{A^2}{n^2} \frac{\alpha + \beta}{\alpha\beta[(\alpha + \beta)^2 + (m - n)^2]},$$

α et β désignant les amortissements; m et n les fréquences respectives des oscillations dans la source et le récepteur. A^2 est un facteur qui dépend des conditions de l'expérience et demeure invariable si l'énergie mise en jeu à l'émission ne change pas.

» I va en croissant à mesure que les périodes propres des deux circuits diffèrent moins l'une de l'autre, et prend une valeur maximum quand elles deviennent égales. Quel que soit le détecteur employé, il est clair qu'il y a intérêt majeur à réaliser tout d'abord une telle condition.

» La relation indique en outre que la valeur de l'énergie mise en jeu à la réception se trouve en étroite relation avec les amortisse-

ments respectifs des systèmes en présence. Sans insister pour l'instant sur la nature de cette relation, on peut en inférer que la connaissance des amortissements présente un intérêt comparable à celle des périodes.

» Ainsi, soit qu'il s'agisse d'obtenir *l'accord* de deux systèmes, c'est-à-dire de réaliser les conditions pour lesquelles l'échange passe par un maximum d'énergie, soit qu'il s'agisse d'exercer un choix judicieux entre divers dispositifs de transmission, il est indispensable de pouvoir déterminer les constantes des systèmes.

» Cette nécessité s'impose avec plus de rigueur encore quand on s'efforce de réaliser la sélection partielle des messages.

» L'importance, universellement reconnue, de la détermination des constantes des antennes, a donné lieu à un grand nombre de travaux.

» Sans insister sur les divers procédés qui ont été proposés ou utilisés dans des recherches spéculatives, je me bornerai à parler des méthodes qui paraissent susceptibles d'être appliquées dans la technique.

» Outre les périodes et les amortissements, qui constituent les principales constantes des antennes, il y a d'autres éléments, comme les self-inductions et les capacités, qu'il peut être parfois utile de connaître. Mais ils jouent un rôle moins essentiel dans la technique des procédés mis en œuvre dans la télégraphie sans fil.

» Je n'en parlerai que d'une manière tout à fait incidente afin de ne pas élargir outre mesure le cadre de cette étude.

» *Détermination des périodes.* — Le principe général consiste à mettre en résonance avec le système étudié un système auxiliaire ou résonateur dont on peut faire varier les constantes de quantités connues. Quand la résonance est établie, la période cherchée est fournie par celle du système accordé. On l'obtient soit par le calcul en fonction des dimensions électriques du résonateur adopté, soit par étalonnage préalable. Les dispositifs utilisés pour effectuer l'opération ont reçu les noms de *ondemètres* ou *cymomètres* ⁽¹⁾. Ils

⁽¹⁾ L'appellation de *cymomètre* a été adoptée par Fleming (de κυμα, vague). On a proposé parfois les noms de *ondomètre* ou *ondamètre*. Mais, de même que l'on dit *phasemètre*, par exemple, il nous paraît plus simple de dire *ondemètre*.

servent à donner la solution rapide des deux problèmes suivants :

- » 1° Un système étant donné, trouver sa période ;
- » 2° Donner à un système une période déterminée.
- » Les dispositifs employés se rapportent au type *résonateur ouvert* ou au type *résonateur fermé*.

» *Résonateurs ouverts.* — Les méthodes employées par Slaby, Seibt, Fleming sont basées sur les propriétés des ondes stationnaires que l'on fait apparaître très aisément dans les longs solénoïdes de faible diamètre.

» Un solénoïde constitué par des tours jointifs de fil isolé peut être considéré comme un conducteur cylindrique qui présente, par unité de longueur, une certaine capacité et une certaine inductance.

» Si ce solénoïde est relié à la terre à l'une des extrémités tandis que l'autre est isolée, il vibre très sensiblement comme un fil de même longueur, c'est-à-dire que les nœuds et les ventres de tension sont distribués de la même manière que sur un conducteur rectiligne filiforme. Mais, comme la capacité et la self-induction par

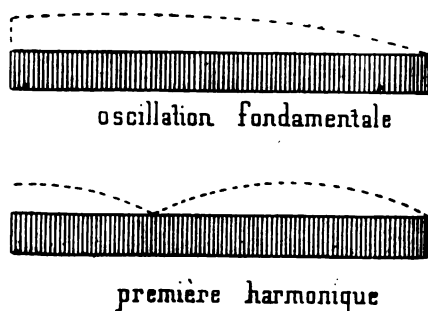


Fig. 1.

unité de longueur sont notablement plus grandes que pour un conducteur rectiligne de même longueur, la vitesse de propagation apparente, c'est-à-dire comptée selon l'axe, est beaucoup plus faible.

Elle est très sensiblement égale à $\frac{1}{\sqrt{C_0 L_0}}$, si l'on désigne par C_0 et L_0 la capacité et la self-induction par unité de longueur.

» La longueur d'onde de l'oscillation dans le solénoïde et la

période excitatrice sont ainsi liées par la relation

$$\lambda = \frac{1}{\sqrt{C_0 L_0}} T.$$

» La détermination de L_0 et de C_0 peut être effectuée par mesure directe. Quant à la valeur de λ , on l'obtiendra en mesurant la longueur d'un internœud pour un harmonique connu.

» Si l'on excite le solénoïde par un oscillateur voisin, et que l'on en modifie progressivement la longueur, on fera apparaître succes-

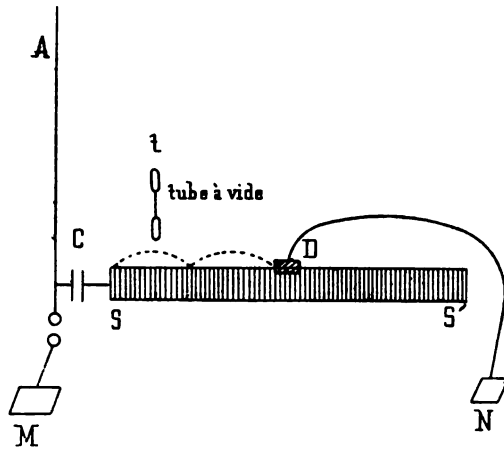


Fig. 2.

sivement les concamérations qui correspondent à l'oscillation fondamentale ou aux harmoniques.

» Les longueurs des internœuds ne sont pas rigoureusement égales, de sorte qu'il est indispensable d'étalonner au préalable l'appareil à l'aide d'un excitateur de période connue.

» Les mesures de Fleming montrent, par exemple, que pour la longueur d'onde fondamentale on a $\lambda = 4,15 l$ et non pas $\lambda = 4 l$ comme l'on devrait avoir si le nœud coïncidait exactement avec l'extrémité.

» Dans le dispositif de Fleming (*fig. 2*), l'appareil ou *cymomètre* est constitué par un long solénoïde SS' de fil nu, enroulé sur un noyau d'ébonite (5000 tours environ). On l'excite à l'aide d'un condensateur C de capacité très faible dont l'une des armatures est reliée à l'antenne, tandis que l'autre est mise en relation avec l'extrémité S du solénoïde.

» En déplaçant le contact glissant D, qui est relié à la terre, on fait varier la longueur du résonateur et l'on détermine une onde stationnaire avec, par exemple, deux nœuds en S et en D, et un autre nœud exactement au milieu de l'intervalle SD. La distance SD est alors égale à la longueur d'onde de l'oscillation dans le solénoïde. L'on en déduit la période, soit à l'aide des relations données ci-dessus quand on connaît la constante $\frac{1}{\sqrt{C_0 L_0}}$ de l'appareil, soit simplement et de préférence à l'aide d'une graduation obtenue par un étalonnage préalable.

» Le choix de l'onde stationnaire avec nœud au milieu de SD

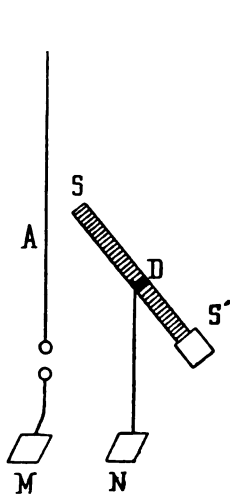


Fig. 3.

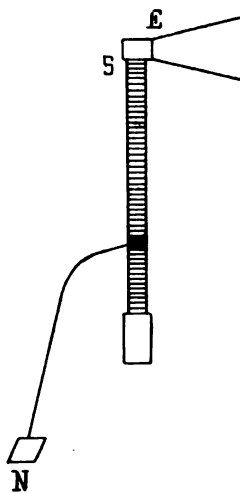


Fig. 4.

permet une détermination exacte de la position des nœuds et ventres de tension. Cette détermination s'opère à l'aide d'un tube à vide t que l'on déplace normalement le long du solénoïde.

» Il convient de se servir d'un tube à néon : on sait en effet que le spectre du néon est particulièrement brillant.

» Des dispositifs analogues, ou du moins reposant sur le même principe, sont employés par Seibt, Arco et Slaby.

» La *baguette multiplicatrice* de Slaby (*Multiplicationstäbe*) (fig. 3) est une tige isolante de verre ou d'ébonite de 2 cm à 3 cm de diamètre, sur laquelle est enroulé, en une seule couche et de bout en bout, un fil fin, constituant un long solénoïde.

» Pour exciter les oscillations dans le solénoïde, on se contente de tenir la baguette à la main et de l'approcher du système étudié (de l'antenne d'émission, en particulier).

» Lorsque le solénoïde a une longueur convenable, il vibre en quart d'onde, comme il a été dit plus haut.

» On accorde le solénoïde en déplaçant le contact glissant D qui se trouve relié à la terre par le corps même de l'observateur. Pour saisir le point d'accord, on peut se borner à l'examen des effluves qui se produisent à l'extrémité isolée S, comme au sommet d'un résonateur Oudin.

» Mais il est préférable d'enfermer l'extrémité S dans une sorte de boîte (*fig. 4*), dont l'une des parois est formée d'un écran fluorescent au platinocyanure de baryum, sur lequel sont disséminés des fragments conducteurs de feuilles d'or. Un cornet opaque facilite l'observation de la luminescence.

» *Résonateur fermé.* — Au lieu de prendre comme résonateur un circuit, le long duquel la capacité et la self-induction se trouvent uniformément distribuées et où se produisent des ondes stationnaires, on peut employer un circuit fermé court où la capacité est concentrée tout entière en un point et la self-induction seule en une autre portion.

» Pour un tel résonateur, la valeur de la période est donnée très exactement par la relation $T = 2\pi\sqrt{LC}$. Ainsi que dans les dispositifs utilisés dans les recherches classiques de Blondlot, on peut donner au circuit une forme géométrique simple de manière à obtenir la valeur de la self-induction par le calcul.

» Le résonateur que nous employons comme ondemètre (*fig. 6*) est constitué par un cadre rectangulaire comprenant un ou deux tours de fil tendu sur des entretoises d'ébonite, et une capacité variable. Un détecteur thermique convenable est intercalé dans le circuit du cadre. Dans l'appareil d'usage courant, la capacité variable est constituée par un condensateur à feuilles d'étain et à lames de verre. Nous avons d'abord construit un dispositif qui permettait de faire varier la capacité par degrés insensibles. Ce dispositif (*fig. 5*), dont le principe rappelle le voltmètre multicellulaire, se composait d'une série de secteurs métalliques mobiles entre des

secteurs conducteurs fixes formés de feuilles d'étain collées sur des disques d'ébonite.

» Les secteurs métalliques peuvent être entraînés par un axe vertical commun auquel ils sont fixés. Dans le mouvement de rota-

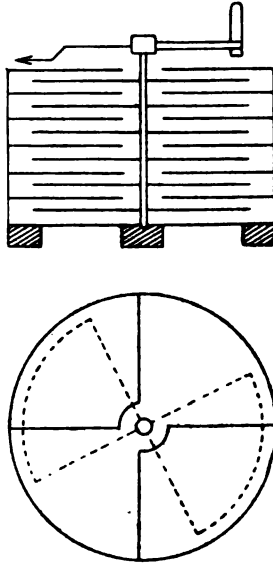


Fig. 5.

tion, ils glissent entre deux surfaces d'ébonite, en regard des secteurs d'étain collés sur les faces opposées des disques.

» Nous avons reconnu que ce dispositif, que nous ne mentionnons que parce qu'il paraît avoir été adopté sous une forme presque identique dans l'ondemètre Dönitz, présente plusieurs inconvénients.

» L'ajustage parfait des disques et des secteurs est assez difficile à obtenir, et subit avec le temps de légères modifications qui obligent à étalonner fréquemment l'appareil. D'ailleurs, il n'est pas utile de faire varier la capacité d'une manière absolument continue.

» Nous avons donc abandonné ce dispositif pour nous servir d'un simple condensateur à lames de verre et à fiches, suffisamment fractionné pour permettre d'opérer avec toute la précision voulue.

» L'ondemètre d'usage courant est étalonné à l'aide d'un appa-

reil analogue, mais construit de manière à pouvoir donner des mesures absolues.

» Dans cet appareil étalon, les condensateurs sont à *lames d'air*, et le cadre, qui a des dimensions géométriques exactement connues, est carré et ne comprend qu'un seul tour de fil.

» La self-induction du cadre est calculée en fonction des dimensions. Quant aux capacités, on peut les obtenir avec une grande précision (puisque ce sont des condensateurs à air) en les mesurant par le procédé du commutateur tournant.

» Bien que l'appareil soit généralement utilisé pour opérer des

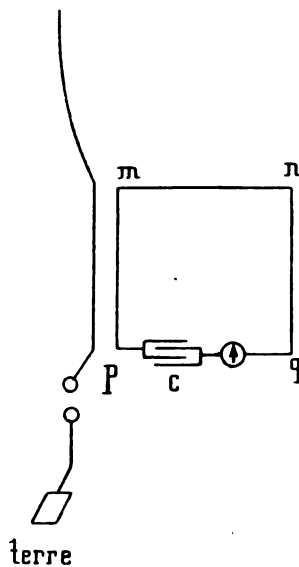


Fig. 6.

mesures à l'émission, et en pareil cas on excite le résonateur par l'antenne d'émission, l'on peut aussi opérer des mesures à la réception en excitant le résonateur par l'antenne réceptrice.

» L'appareil permet d'opérer des mesures à des distances considérables du système excitateur en substituant un bolomètre à l'ampèremètre à fil chaud comme détecteur thermique.

» Les mesures s'opèrent dans tous les cas en excitant le résonateur par une portion rectiligne de l'antenne, disposée à une distance invariable du cadre.

» On peut se borner à faire varier la capacité et à observer la valeur pour laquelle l'indication du thermique passe par un maxi-

mum. Ce procédé expéditif, suffisant pour les antennes attaquées par excitation directe, et quand les amortissements sont faibles, doit être remplacé dans la détermination des périodes des systèmes *couplés*, ou dans le cas d'amortissements notables, par l'observation plus complète de la courbe de résonance que l'appareil permet d'ailleurs de tracer aisément.

» Nous verrons en effet que le maximum des indications du thermique ne correspond pas exactement à l'égalité des périodes des deux systèmes, mais permet de déterminer leur différence.

» La Société *Telefunken* se sert de l'ondemètre Dönitz, dont nous avons déjà parlé, et qui est basé sur le même principe que le nôtre.

» Le résonateur fermé se compose d'un certain nombre de spires circulaires de diamètre notable. Le détecteur thermique est un thermomètre de Riess, dont le fil est intercalé dans le résonateur. La capacité variable est constituée par un condensateur à secteurs mobiles, tout à fait analogue à celui que nous avons décrit plus haut. La différence principale paraît consister dans l'emploi d'un liquide diélectrique (pétrole) comme isolant dans le condensateur, au lieu des disques d'ébonite dont nous avons fait usage pour séparer les secteurs métalliques.

» *Choix et usage des ondemètres.* — Tous les appareils précédents sont susceptibles de fournir la valeur des périodes avec une précision suffisante pour les besoins de la pratique.

» Il n'est pas inutile, toutefois, de préciser les conditions générales qui doivent être remplies pour pouvoir obtenir des mesures parfaitement comparables.

» Tout d'abord, l'appareil ne doit introduire aucune modification dans les constantes du système étudié. Il ne suffit pas pour cela qu'il ne soit point directement relié au système dont on veut obtenir la période. Le fonctionnement même de l'ondemètre suppose que l'appareil draine à son profit une portion de l'énergie mise en jeu à l'excitation : cette fraction d'énergie doit être assez faible pour que la réaction du résonateur sur l'excitateur puisse être considérée comme négligeable.

» Pour approcher autant que possible de ces conditions, il faut rendre très faible l'induction mutuelle entre les circuits quand on

agit sur le résonateur par induction électromagnétique, ou la capacité de couplage quand on opère par induction électrostatique.

» Les résonateurs fermés qui exigent moins d'énergie que les résonateurs ouverts, puisqu'ils ne rayonnent pas, sont donc en général plus avantageux.

» Les dispositifs à *résonateur ouvert* paraissent d'ailleurs inférieurs à plusieurs points de vue aux dispositifs à *résonateur fermé*.

» La condition de maintenir la *baguette multiplicatrice* de Slaby dans une position invariable et toujours identique pour rendre les mesures comparables, paraît difficile à réaliser exactement. Dans le cymomètre de Fleming, le mode d'excitation par petit condensateur auxiliaire obvie à cet inconvénient. Mais, si par cette addition on se rapproche en quelque sorte d'un résonateur fermé, il n'est pas certain que cette petite capacité ne modifie pas les constantes de l'appareil.

» Or, le mode d'emploi de l'appareil suppose qu'il existe un coefficient $\frac{1}{\sqrt{C_0 L_0}}$ constant, c'est-à-dire que la capacité et la self-induction par unité de longueur du solénoïde demeurent invariables. Cette condition n'est certainement pas réalisée, car Fleming, lui-même, a reconnu que le coefficient $\frac{1}{\sqrt{C_0 L_0}}$ varie selon qu'on le détermine à l'aide de l'oscillation fondamentale ou des oscillations supérieures.

» Aussi n'est-ce point, en définitive, ni la mesure préalable de C_0 et L_0 , mesure au demeurant assez délicate, ni la relation empirique $\lambda = 4,15\lambda$, que nous avons signalée d'après Fleming, qui sont utilisées pour graduer le cymomètre, mais bien l'emploi d'un excitateur fermé à *cadre rectangulaire* et à *capacité variable*, capable de fournir, par le *calcul de L* et la *mesure de C*, des oscillations de périodes bien déterminées.

» L'appareil étalon demeure donc, même avec les solénoïdes, un excitateur fermé, identique en principe avec l'ondemètre auquel nous donnons la préférence.

» L'objection la plus sérieuse que l'on puisse faire aux résonateurs solénoïdaux est l'usage de la luminescence comme procédé d'observation.

» L'observation de la luminescence est susceptible de renseigner uniquement sur la position d'un maximum. Or, nous avons déjà noté que ce n'est pas exactement la position du maximum *observé* au résonateur qui fixe la vraie valeur de la période de l'excitateur.

» Nous allons voir, en outre, que la manière dont ce maximum est atteint, que le gradient de l'énergie dans le résonateur, sont des plus intéressants à connaître, car ils donnent des renseignements très complets sur l'excitation et permettent d'en obtenir l'amortissement.

» L'emploi d'un détecteur thermique qui donne des mesures quantitatives est donc bien plus avantageux que l'emploi d'un tube à vide.

» Mais, dans l'usage d'un pareil détecteur, en raison même de la sommation effectuée, il faut prendre grand soin de conserver une valeur exactement constante, non seulement à l'énergie mise en jeu à l'excitation, mais aussi au nombre des trains d'ondes par seconde.

» En résumé, nous estimons que l'ondemètre le plus avantageux est constitué par un résonateur fermé, associé à un détecteur thermique aussi sensible que possible. Le cadre doit être de dimensions notables par rapport au diamètre du fil (de manière à présenter une self-induction suffisante), et de dimensions très faibles par rapport aux longueurs d'ondes à mesurer (de manière que le courant soit réparti uniformément le long du résonateur). Le fil lui-même aura une résistance (résistance apparente) aussi faible que possible, et sera enroulé sur des entretoises d'ébonite, de manière à être maintenu assez loin des armatures de bois du cadre, non seulement afin d'assurer un parfait isolement, mais aussi afin de ne pas risquer d'en faire varier l'inductance par le voisinage des pièces de bois.

» L'excitation doit être effectuée de manière que l'induction mutuelle entre les circuits ait une valeur faible. Ces conditions seront réalisées en excitant le résonateur par un simple bout de conducteur rectiligne, c'est-à-dire, par exemple, par une portion même de l'antenne, que l'on évitera autant que possible de replier ou de contourner en boucle.

» Elles pourront être d'autant mieux remplies que le cadre sera

plus loin de l'excitation, c'est-à-dire que l'on fera usage d'un détecteur plus sensible.

» L'emploi d'un bolomètre permet d'opérer à des distances considérables. Si l'on se sert en même temps de condensateurs à lames d'air, on pourra réaliser à peu près rigoureusement les conditions que la théorie suppose.

» Une telle rigueur n'est d'ailleurs désirable que pour un appareil étalon. En fait, l'ondemètre à condensateur à lames de verre (à fiches) et à ampèremètre thermique se rapproche suffisamment des conditions énoncées pour satisfaire à tous les besoins de la technique.

» *Détermination des amortissements.* — Il existe un certain nombre de procédés susceptibles de permettre la détermination de l'amortissement d'un oscillateur ou d'un résonateur. La plupart de ces procédés sont d'application trop délicate pour pouvoir être employés dans la technique de la télégraphie sans fil. Bien que nos propres essais aient montré la possibilité de rendre pratique l'emploi du détecteur magnétique de Rutherford pour la détermination des constantes des antennes, l'usage d'un tel dispositif ressort plutôt du laboratoire.

» Les méthodes qui se prêtent le plus aisément aux applications sont basées sur l'utilisation de la *courbe de résonance*.

» L'expression de l'énergie moyenne mise en jeu dans un résonateur excité par un oscillateur a été donnée plus haut. D'après la théorie générale de la résonance, on a

$$I = \frac{A^2}{n^2} \frac{\alpha + \beta}{\alpha \beta [(\alpha + \beta)^2 + (m - n)^2]},$$

I , effet enregistré par le détecteur thermique, proportionnel au carré de l'intensité moyenne;

m et n , pulsations de la source et du résonateur, liées aux périodes T et θ par les relations

$$m = \frac{2\pi}{T}, \quad n = \frac{2\pi}{\theta},$$

α et β , amortissements liés aux décroissements γ et δ par les relations

$$\alpha = \frac{\gamma}{T}, \quad \beta = \frac{\delta}{\theta}.$$

» En substituant dans l'expression de I , à m et n , α et β , leurs valeurs en fonction de T , θ , γ , δ , et en introduisant la moyenne arithmétique $\omega = \frac{\gamma + \delta}{2}$ des décrets comme variable indépendante, on lui donne la forme

$$I = I_0 \frac{\omega^2 T^2 + \pi^2 S (\theta - T)}{\omega^2 T^2 + \pi^2 (\theta - T)^2}.$$

» La courbe représentative $I = f(\theta)$ (*fig. 7*) est une courbe du troisième degré que Bjerknes a étudiée et a nommée *courbe de résonance*.

» Le lieu des milieux des cordes horizontales est une hyperbole équilatère qui a pour asymptotes l'axe des x (des θ), et une droite qui diffère très peu de la parallèle à l'axe des y (des I), $\theta = T$.

» Il y a lieu de noter que le maximum de la courbe ne corres-

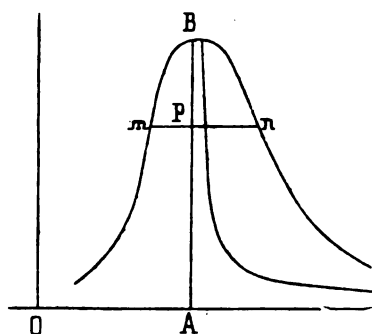


Fig. 7.

pond pas à la coïncidence des deux périodes propres de la source et du résonateur : nous allons voir qu'il peut servir à déterminer leur différence.

» La construction de l'hyperbole et de l'asymptote parallèle aux y permet d'obtenir la valeur de la période T de la source. Le rapport dans lequel l'asymptote coupe les cordes parallèles aux x fournit la moyenne ω des décrets.

» L'ondemètre que nous avons décrit permet d'obtenir aisément le tracé par points de la courbe.

» Il suffit de noter les indications du thermique qui correspondent à des valeurs progressivement croissantes de la capacité variable du résonateur.

» On porte en abscisses les racines carrées des capacités, proportionnelles aux périodes (ou les périodes correspondantes elles-mêmes), en ordonnées, les carrés des indications du thermique (supposé gradué en intensités efficaces).

» Le tracé graphique de la courbe, de l'hyperbole et de ses asymptotes, étant effectué, l'abscisse $\overline{OA}$ de l'asymptote donne immédiatement la valeur de la période réelle T de la source.

» On trace une corde mn parallèle à l'axe des x de manière à diviser l'ordonnée AB de l'asymptote dans un rapport déterminé, soit, par exemple, $\frac{Ap}{Bp} = 2$, et l'on mesure à l'échelle des abscisses les longueurs des segments $mp = a$, $pn = b$.

» La valeur numérique ω de la moyenne des décroissements est donnée par la relation

$$\omega = \frac{\gamma + \delta}{2} = \frac{\pi}{OA} \sqrt{2ab}.$$

» Pour le résonateur de l'ondemètre étalon dont les dimensions géométriques sont exactement connues, on peut obtenir par le calcul la valeur de son décroissement propre δ

$$\delta = \frac{R}{2L} T,$$

en fonction de sa résistance (apparente pour la fréquence $\frac{1}{T}$) et de sa self-induction.

» Mais, même en pareil cas, il vaut mieux déterminer par l'expérience et séparément γ et δ .

» On fait varier δ par addition d'une résistance non inductive dans le résonateur et, opérant avec la même énergie à l'excitation, on trace une seconde courbe de résonance qui donne une nouvelle valeur $\omega_1 = \frac{\gamma + \delta_1}{2}$.

» Quand les systèmes sont accordés, $m = n$, et la relation donnée ci-dessus,

$$I = \frac{A^2}{n^2} \frac{\alpha + \beta}{\alpha\beta[(\alpha + \beta)^2 + (m - n)^2]},$$

devient

$$I = I_0 = \frac{A^2}{n^2} \frac{1}{\alpha\beta(\alpha + \beta)}.$$

» Comme $\theta = T$, on a en désignant par α^2 une constante qui ne dépend que de la période et de la valeur de l'énergie d'excitation

$$I_0 = \frac{\alpha^2}{\gamma \delta (\gamma + \delta)}.$$

» Quand, conservant l'excitation constante, on fait varier δ , on a une nouvelle valeur I'_0 de I_0

$$I'_0 = \frac{\alpha^2}{\gamma \delta_1 (\gamma + \delta_1)}.$$

» D'où trois relations pour déterminer les variables indépendantes γ , δ et δ_1 .

» M. Brillouin a donné une forme intéressante à l'équation de la courbe de résonance par un choix convenable des variables.

» Prenons la relation générale de la résonance sous la forme

$$I = \frac{A^2}{n^2} \frac{\alpha + \beta}{\alpha \beta [(\alpha + \beta)^2 + (m - n)^2]}.$$

» Et posons

$$(m - n) = x, \quad \frac{1}{I} = y.$$

» Il vient

$$y = \frac{n^2}{A^2} \frac{\alpha \beta [(\alpha + \beta)^2 + x^2]}{\alpha + \beta}.$$

» La courbe $y = f(x)$ est une parabole à axe vertical dont le sommet correspond à

$$x = (m - n) = 0.$$

» L'abscisse du sommet de la parabole donne donc la fréquence réelle de la source.

» L'ordonnée h du sommet est

$$h = \frac{n^2}{A^2} \alpha \beta (\alpha + \beta)$$

et le paramètre

$$2p = \frac{A^2}{n^2} \frac{\alpha + \beta}{\alpha \beta}.$$

» De sorte que l'on a

$$2ph = (\alpha + \beta)^2.$$

p et h se déterminent aisément quand on a tracé la parabole par points sur papier millimétré.

» Une seconde détermination, opérée avec un amortissement différent α' , donne une autre parabole, c'est-à-dire une nouvelle valeur p' de p et une nouvelle valeur h' de h .

» Et

$$2p'h' = (\alpha' + \beta)^2.$$

» D'ailleurs, si l'on a pris soin, comme précédemment, d'opérer à énergie d'excitation constante, on a

$$\frac{p'}{p} = \frac{\alpha' + \beta}{\alpha + \beta} \frac{\alpha}{\alpha'},$$

ce qui fournit, comme ci-dessus, trois relations pour déterminer α , β et α' .

» Les deux méthodes précédentes, que nous avons indifféremment employées avec notre ondemètre, donnent des résultats très satisfaisants. Il convient toutefois de recommander le procédé de calcul par la parabole (qui est plus rapide que l'autre) quand les amortissements sont faibles. La dissymétrie de la courbe de résonance proprement dite est alors peu marquée, et la parabole a l'axe vertical comme nous l'avons supposé ci-dessus.

» Quand les amortissements prennent des valeurs notables, la variation de période entraîne une variation d'amortissement, de sorte que la courbe de résonance devient dissymétrique.

» Cette dissymétrie se traduit dans le tracé parabolique par une inclinaison de l'axe de la parabole. L'ordonnée minimum et le paramètre conservent les mêmes valeurs, mais il n'y a plus de relation simple pour obtenir la valeur de la période de la source.

» L'aspect de la courbe de résonance est un criterium très sûr de l'exactitude sur laquelle on peut compter pour la détermination de la période. Tant que la dissymétrie n'est pas trop marquée pour que l'asymptote s'écarte de la branche d'hyperbole, l'axe de la parabole demeure sensiblement vertical, et l'on peut avoir confiance dans les déterminations.

» MM. Fleming et Dyke ont utilisé le cymomètre décrit plus haut au tracé des courbes de résonance, en substituant au tube à vide (à néon) que l'on déplace le long du résonateur pour obtenir la position des nœuds de tension, un détecteur thermique intercalé dans le solénoïde même.

» Ce détecteur est constitué par un simple bout de fil fin mis en contact avec une soudure thermo-électrique.

» Pour faire l'observation, on fait varier progressivement la période du résonateur en déplaçant le contact mobile D (*fig. 2*) et l'on note, pour chacune des valeurs de la période, l'intensité efficace au détecteur thermique.

» Le calcul de la courbe de résonance est conduit d'une manière un peu différente de celle que nous avons adoptée.

» De la relation générale

$$I = \frac{A^2}{n^2} \frac{\alpha + \beta}{\alpha\beta[(\alpha + \beta)^2 + (m - n)^2]}$$

on déduit, en désignant par I_0 la valeur maximum de I , c'est-à-dire celle qui correspond à la résonance (m très voisin de n),

$$\frac{m - n}{\alpha + \beta} = \sqrt{\frac{I_0}{I}} - 1.$$

» On applique cette relation au calcul de $\alpha + \beta$ en relevant la valeur maximum I_0 du courant au thermique, et une autre valeur quelconque I .

» En procédant comme ci-dessus, c'est-à-dire en modifiant le décrement propre du résonateur (du cymomètre dans le cas présent) par introduction d'une résistance auxiliaire, on obtient une seconde relation analogue qui permet le calcul de α et β .

» Ce mode de calcul n'exige pas le tracé complet de la courbe de résonance, mais présente l'inconvénient de faire reposer la détermination des décrets sur l'observation isolée d'un seul point de la courbe.

» Les méthodes que nous employons font reposer au contraire la détermination sur le tracé de la courbe entière et paraissent devoir fournir des valeurs *moyennes* plus exactes.

» On doit noter aussi que l'application de la théorie de Bjerknes suppose essentiellement que la période de l'un des systèmes varie (peu importe d'ailleurs comment), mais que la période est le seul élément variable.

» Cette condition se trouve réalisée dans notre ondemètre, où la variation de période est obtenue par variation de capacité. Il n'en est plus rigoureusement ainsi avec le cymomètre, où la modifica-

tion de période s'obtient par variation simultanée de capacité et de self-induction.

» A la vérité, la résistance subit aussi une variation quand on modifie la longueur du solénoïde. Mais la variation de la résistance totale du système n'est pas proportionnelle à celle de la self-induction à cause de la résistance du détecteur thermique intercalé.

» De sorte que la variation de période est accompagnée d'une variation de décrément et que l'application des relations de Bjerknes ne demeure plus absolument légitime.

» *Deuxième méthode.* — Quand les systèmes sont en résonance, nous avons vu qu'il existe une relation particulièrement simple entre l'énergie mise en jeu dans le résonateur et les amortissements respectifs des systèmes en présence.

» L'énergie mise en jeu dans le résonateur (effet thermique intégral) est proportionnelle aux carrés des indications d'un ampèremètre thermique intercalé dans le résonateur.

» On a ainsi

$$I_0 = K i^2 = \frac{\alpha^2}{\gamma \delta (\gamma + \delta)},$$

γ et δ étant les décréments respectifs du système excitateur (antenne) et du résonateur à l'accord.

» Ou en posant

$$z = \frac{1}{i}, \quad m^2 z^2 = \gamma \delta (\gamma + \delta).$$

» Supposons que l'on fasse varier progressivement l'un des décréments, δ par exemple, en lui donnant des valeurs $(\delta + x)$ croissantes, tandis que l'énergie d'excitation et l'autre décrément γ conservent des valeurs constantes.

» Si l'on porte les x , c'est-à-dire les variations du décrément en abscisses, et les z , c'est-à-dire les inverses du courant en ordonnées, on obtient une hyperbole (*fig. 8*)

$$(1) \quad x^2 - m^2 z^2 + 2 \left(\delta + \frac{\gamma}{2} \right) x + \delta (\gamma + \delta) = 0.$$

» Les asymptotes sont les deux droites

$$m z = \pm x + \left(\delta + \frac{\gamma}{2} \right).$$

» Et le centre est un point A de l'axe des x et a pour abscisse

$$x_0 = -\left(\delta + \frac{\gamma}{2}\right).$$

» Quand γ et δ ont les valeurs, toujours relativement faibles, qui

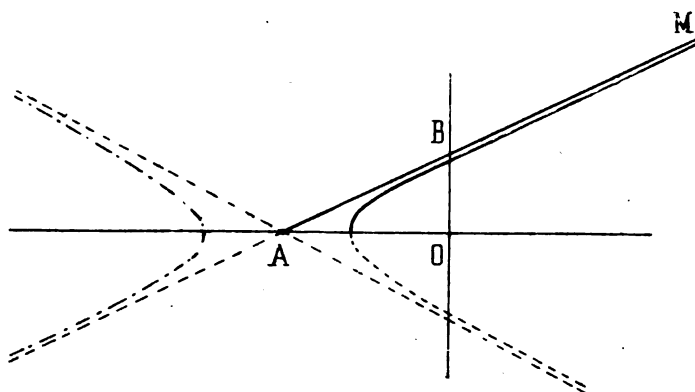


Fig. 8.

se trouvent réalisées dans les systèmes utilisés en télégraphie sans fil, les branches de l'hyperbole se confondent pratiquement très vite avec leurs asymptotes.

» De sorte que le tracé graphique, et obtenu par points, de la courbe (1), à l'aide des valeurs fournies par l'observation, donne une branche de courbe qui se confond très sensiblement avec la droite MB.

» La figure 9, qui est la reproduction exacte d'une courbe relevée à l'aide de notre ondemètre excité par une antenne filiforme de 55 m de longueur, et pour une variation du décrement δ du simple au triple environ, montre que les points fournis par l'observation (et figurés par de petits cercles) sont bien sur une même droite.

» L'intersection de cette droite MB avec l'axe des X fournit le point A, centre de l'hyperbole, c'est-à-dire donne la valeur numérique de $\delta + \frac{\gamma}{2}$ (1).

(1) Bien que les détails suivants n'aient pas été donnés dans la Communication verbale, j'ai cru intéressant de les insérer au *Bulletin*. (C. T.)

» La variation progressive du décrement s'obtient très simplement en intercalant en série dans le résonateur des résistances non inductives croissantes.

» Les valeurs de x sont proportionnelles aux valeurs ρ des résistances intercalées. Le facteur de proportionnalité $\frac{1}{2L} T$ se détermine aisément par un étalonnage préalable du résonateur utilisé.

» L'appareil qui sert à réaliser les mesures, ou *décremètre*, se compose essentiellement d'un ondemètre à circuit fermé, iden-

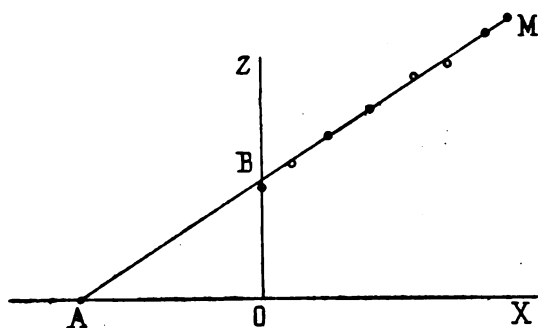


Fig. 9.

tique en principe à celui que nous avons déjà décrit, c'est-à-dire constitué par un cadre de fil, un condensateur à fiches, et un thermique; et d'une résistance non inductive variable, susceptible d'être intercalée dans le résonateur et d'en faire varier le décrement.

» La résistance non inductive est constituée par des bouts rectilignes de fils très courts et de grande résistivité.

» L'introduction de ces résistances dans le résonateur n'en modifie pas la self-induction, et la valeur de la résistance apparente pour la fréquence utilisée demeure la même que celle de la résistance ohmique en courant continu.

» La variation de résistance s'obtient par déplacement de fiches : les bouts de fils sont d'ailleurs disposés de manière que leur introduction ou leur suppression ne modifie pas la forme géométrique du système.

» La mesure comporte deux opérations successives :

» 1° La résistance étant à zéro, on accorde le résonateur en manœuvrant les fiches du condensateur de manière à obtenir la dévia-

tion la plus grande possible au thermique. Comme l'appareil est gradué en longueurs d'ondes, cette première opération donne la longueur d'onde de l'antenne étudiée. (Si l'on désire une plus grande approximation dans la mesure de la période, on trace la courbe de résonance, cubique ou parabole.)

» 2° Laissant le résonateur à l'accord, on fait varier progressivement la valeur de la résistance intercalée en notant l'indication du thermique ainsi que la valeur de la résistance correspondante.

» On porte sur une feuille millimétrée, en abscisses, les valeurs

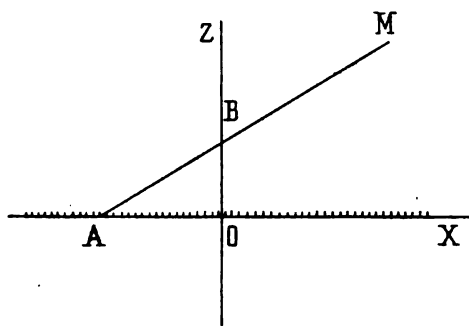


Fig. 10.

des résistances marquées sur les plots; en ordonnées, les lectures ($z = \frac{1}{i}$) faites au thermique. On obtient une droite MB (fig. 10) qui coupe l'axe des x en un point A dont la distance à l'origine O, évaluée à l'échelle des abscisses, donne une valeur $x_0 = \overline{OA}$.

» On entre avec cette valeur dans une table à double entrée qui porte, dans une colonne horizontale, les longueurs d'onde et dans une colonne verticale les résistances x_0 , et l'on obtient immédiatement la valeur du décrement de l'antenne.

» L'établissement de cette table suppose que l'on ait étalonné au préalable le résonateur, c'est-à-dire déterminé la valeur δ de son décrement propre, ainsi que sa self-induction L_0 (pour les courants superficiels utilisés). Si l'on ne connaît pas ces éléments, on peut procéder de la manière suivante :

» On laisse à zero la résistance du résonateur accordé et l'on intercale dans l'antenne des résistances non-inductives croissantes.

» Ces résistances, qui sont destinées à faire varier le décrement

de l'antenne, doivent avoir des valeurs beaucoup plus grandes que les résistances ρ que l'on intercalait dans le résonateur. (Dans nos dispositifs, par exemple, tandis que les résistances ρ dans le résonateur varient de 0 à 3 ohms, les résistances dans l'antenne varient de 0 à 90 ohms environ.)

» Pour obtenir de pareilles résistances non inductives, on se sert de lampes spéciales à filaments rectilignes disposées comme l'indique le schéma.

» L'inductance d'un pareil système est très faible. On obtient la variation de résistance en mettant en court-circuit un nombre variable de filaments à l'aide de broches en fil de cuivre, qui réunissent les différents plots de AB et de CD (fig. 11) de manière que la forme géométrique du circuit ne change pas.

» La variation de cette résistance R intercalée dans l'antenne en

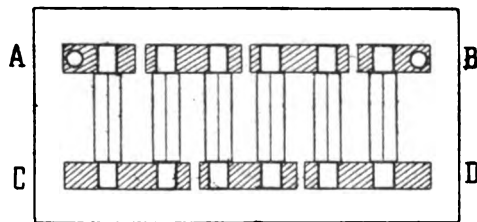


Fig. 11.

modifie le décrement γ . En relevant les valeurs correspondantes de $z = \frac{1}{i}$ au thermique du résonateur (δ invariable) et en désignant par y les variations de γ , on a encore une hyperbole

$$y^2 - p^2 z^2 + 2\left(\gamma + \frac{\delta}{2}\right)y + \gamma(\gamma + \delta) = 0,$$

dont l'asymptote $pz = y + \left(\gamma + \frac{\delta}{2}\right)$ se confond très sensiblement avec la courbe, et donne, par son intersection avec l'axe des y , l'abscisse du centre de l'hyperbole, c'est-à-dire une valeur $y_0 = \gamma + \frac{\delta}{2}$ à l'échelle adoptée.

» On peut faire en sorte que δ soit, par construction, beaucoup plus petit que γ . Cette seule observation permet alors, sans étalonnage préalable, d'obtenir des valeurs y_0 proportionnelles à γ .

» On peut aussi se servir des deux résistances variables ρ et R et, à l'aide de deux opérations successives, obtenir le rapport $\frac{L}{L_0}$ de la self-induction *apparente* de l'antenne à la self-induction du résonateur.

» En faisant varier la résistance ρ intercalée dans le résonateur, on a

$$\delta + \frac{\gamma}{2} = x_0 = \frac{\rho_0}{2L_0} T.$$

» Intercalons une résistance quelconque R_1 dans l'antenne, ce qui lui donne un décrement γ' , et supposons qu'on répète la même mesure.

» On obtient

$$\delta + \frac{\gamma'}{2} = x'_0 = \frac{\rho'_0}{2L_0} T,$$

en désignant par x'_0 la valeur de x qui correspond à la nouvelle valeur ρ'_0 de ρ .

» On a

$$\gamma' - \gamma = \frac{\rho'_0 - \rho_0}{L_0} T.$$

» Mais, si l'on désigne par R la résistance propre d'amortissement de l'antenne, et par L sa self-induction apparente, on a

$$\gamma = \frac{R}{2L} T, \quad \gamma' = \frac{R + R_1}{2L} T.$$

» De sorte que

$$\gamma' - \gamma = \frac{R_1}{2L} T.$$

Et l'on a, par suite,

$$\frac{L}{L_0} = \frac{R_1}{2(\rho'_0 - \rho_0)},$$

R_1 , ρ_0 et ρ'_0 étant simplement exprimés en ohms.

» La méthode serait susceptible d'être utilisée ailleurs que dans la télégraphie sans fil. Mais je ne veux pas étendre outre mesure le cadre de cette Communication et serais heureux si j'ai pu montrer par les exemples sur lesquels j'ai attiré votre bienveillante attention la fécondité de l'étude de la courbe de résonance pour toutes

les questions qui se rattachent aux applications des ondes électriques. »

M. le PRÉSIDENT remercie M. Tissot en ajoutant qu'il est un des premiers qui se soient occupés et aient poursuivi sans relâche la recherche de méthodes de mesure applicables à la télégraphie sans fil; ses efforts ont été récompensés par les résultats qu'il vient d'exposer.

**MESURES DE SÉCURITÉ A CONSEILLER POUR L'EXPLOITATION DES RÉSEAUX
A COURANT ALTERNATIF.
RÉSUMÉ DES DISCUSSIONS DE LA SOCIÉTÉ.**

M. GROSSELIN. — « Pour répondre au désir récemment exprimé par notre Président, M. M. Leblanc, la quatrième Section de votre Comité a cherché à tirer quelques conclusions pratiques des discussions qui ont eu lieu à la Société depuis 1902, sur l'exploitation des courants alternatifs.

» On nous a reproché, d'autre part, de nous montrer un peu pressés, certaines des questions qui se posent dans les exploitations étant encore à l'étude.

» Nous avons pensé cependant que nous pourrions épargner aux exploitants, et peut-être même aux constructeurs, beaucoup de tâtonnements et d'écoles coûteuses en cherchant à vulgariser, dès maintenant, les résultats acquis et notamment ceux qui paraissent sanctionnés définitivement par l'expérience. Pour les points encore discutés, nous avons mis en présence les opinions opposées, et laissé la responsabilité de ces opinions à leurs auteurs.

» La quatrième Section pourra revenir sur ce sujet dans quelque temps, lorsque les points douteux auront été éclairés par les études actuellement en cours.

PREMIÈRE PARTIE. — SURTENSIONS DANS LES RÉSEAUX.

» Les discussions, inaugurées sous la présidence de M. Desrozières, ont montré que les surtensions dans les réseaux peuvent être produites par les principales causes suivantes :

» I. Résonance, en marche normale, des harmoniques de la courbe de tension des alternateurs avec les périodes propres du réseau ;

- » II. Perturbations brusques résultant :
 - » a. De la fermeture d'un interrupteur ;
 - » b. De l'ouverture d'un interrupteur ;
 - » c. De l'extinction d'un court-circuit.

» III. Dans les réseaux aériens en tout ou en partie, décharges ou influences atmosphériques.

I. — RÉSONANCE EN MARCHÉ NORMALE DES HARMONIQUES.

» Il résulte des discussions soulevées à ce sujet, et notamment des observations faites par MM. Picou et Brylinski sur un réseau existant ⁽¹⁾, que les conditions nécessaires pour que ce phénomène se produise, quoique rarement réalisées, peuvent l'être et l'ont été une fois au moins. Il faut remarquer, d'ailleurs, que le réseau en question était peu développé, n'ayant que 2 microfarads de capacité; d'une manière générale, l'expérience semble montrer que les petits réseaux sont les plus exposés.

» Pour combattre ces effets, il faut : ou supprimer les harmoniques dans l'alternateur ;

» Ou supprimer dans le réseau leurs conditions de résonance ;

» Ou limiter, par des appareils analogues à des soupapes de sûreté, les effets de la résonance.

» 1° *Suppression des harmoniques.* — Cette question est de la compétence de la première Section, nous l'avons donc laissée de côté. Je rappelle seulement qu'elle a été traitée, ici même, par M. Guéry, dans la séance de mars 1906.

» Il faut remarquer, à ce propos, qu'il y a toujours intérêt à supprimer l'harmonique 3 et ses multiples.

» Si, en effet, ces harmoniques disparaissent entre les fils d'un circuit triphasé, ils subsistent néanmoins dans les courants de charge qui proviennent de la capacité entre chacun des fils et la terre, et ils provoquent alors des courants de circulation de la fréquence correspondante, comme si le réseau avait plusieurs points neutres simultanément à la terre.

» Il peut donc en résulter des effets d'induction sur les conducteurs extérieurs à un câble triphasé.

» 2° *Suppression des conditions de résonance.* — Ces conditions

(1) Picot, *Surtensions dans les canalisations électriques*, mai 1904, p. 267. — *Discussion* : Brylinski, Potier, Boucherot, Blondel, *ibidem*, p. 290.

dépendent des périodes propres du réseau, c'est-à-dire des constantes des alternateurs, des câbles et des récepteurs, et se modifie avec son développement. Il est donc impossible de construire *a priori*, pour un réseau donné, des câbles et des récepteurs ne produisant pas de résonances d'harmoniques.

» Tout au plus, pourrait-on le faire pour des lignes de transport de force, d'une longueur bien déterminée et ne devant pas subir de modifications à l'avenir.

» Je rappellerai seulement que M. Brylinski a montré ⁽¹⁾ que la capacité répartie des longues lignes amortit les harmoniques supérieurs.

» Ainsi, un câble de 3×50 mm³ pour 27 500 volts composés, à la fréquence de 48 et de 90 km de long présentera en régime permanent une grande sécurité de fonctionnement (M. Brylinski).

» Mais il sera bon de surveiller un réseau en effectuant, après sa mise en service et après chaque modification un peu importante apportée à son développement, des essais oscillographiques aux différentes heures de la journée et dans différentes conditions de charge.

» Les travaux de MM. Blondel ⁽²⁾, Brylinski ⁽²⁾, Picou ⁽²⁾ et Potier ⁽³⁾ fournissent, d'ailleurs, des méthodes de calculs des périodes propres d'un réseau (M. Brylinski a montré que la période propre d'un réseau est multiple) et la méthode oscillographique de M. Armagnat permet de déterminer les harmoniques d'un alternateur avec leurs amplitudes et leurs phases ⁽⁴⁾.

» D'où l'on déduit les conditions possibles de résonance.

» On peut encore trouver expérimentalement les périodes propres d'un réseau, comme M. Brylinski l'a fait remarquer, en faisant résonner sur ce réseau les harmoniques multiples d'un alternateur ou d'un transformateur.

» M. Blondel a indiqué une autre méthode qui consiste simple-

⁽¹⁾ BRYLINSKI, *Sur les réseaux alternatifs à haute tension*, mars 1905, p. 149.

⁽²⁾ BLONDEL, *Remarques sur les phénomènes oscillatoires des réseaux*, août-octobre 1905, p. 579.

⁽³⁾ *Surtensions dans les canalisations électriques*, mai 1904.

⁽⁴⁾ La méthode de M. Armagnat permet aussi d'analyser les harmoniques d'un alternateur fonctionnant sur un réseau.

ment dans l'enregistrement oscillographique des régimes de charge et de décharge du réseau isolé; la charge peut être produite dans ce cas par du courant continu à 110 volts par exemple.

» La période ainsi obtenue diffère si peu de la période de résonance que le résultat est suffisant pour la pratique, et dispense de l'emploi d'un alternateur spécial.

» 3° *Limitation des effets des résonances.* — Cette limitation est obtenue d'une manière générale par l'installation de limiteurs de tension.

» J'ajouterai de suite que cette mesure, sur les détails de laquelle nous reviendrons, ne peut être considérée que comme provisoire et permet d'exploiter le réseau tant bien que mal jusqu'à modification des alternateurs ou de la capacité en jeu.

II. — PERTURBATIONS BRUSQUES.

» a. *Fermeture d'un interrupteur.* — Il résulte des discussions, que la fermeture d'un interrupteur sur un câble à vide peut élever la tension à une valeur double de celle de la tension de régime, si elle se produit au moment du maximum de la courbe de tension. La tension pourrait même dépasser le double de la tension de régime si la période propre du réseau se rapprochait suffisamment de celle d'un harmonique.

» L'amortissement qui résulte de la charge des transformateurs se traduit par une diminution très notable des surtensions.

» Les courbes oscillographiques relevées par M. David ⁽¹⁾ sur le réseau de l'Énergie électrique du Littoral méditerranéen ont montré :

» 1° Que la fermeture du circuit peut se produire à un moment quelconque de la période.

» 2° Que les essais effectués sur une ligne très faiblement chargée ont déterminé des surtensions allant jusqu'à 1,67.

» Les courbes relevées par le même expérimentateur lors de la

⁽¹⁾ DAVID. *Recherches oscillographiques effectuées par le Laboratoire Central d'Électricité sur le réseau à H. T. de la Compagnie de l'Énergie électrique du Littoral Méditerranéen*, janvier 1905, p. 51.

fermeture d'un interrupteur sur un câble armé à vide et sur le même câble alimentant un transformateur à vide n'indiquent que des surintensités au départ de la ligne.

» D'ailleurs M. Brylinski a montré que la coïncidence de la fermeture avec le maximum de la tension exigeait un concours de circonstances rarement réalisé.

» Néanmoins, il résulte des observations faites dans certaines stations centrales que la fermeture d'un interrupteur sur une ligne à vide ou très peu chargée constitue une manœuvre dangereuse.

» Je rappelle ici que, bien antérieurement aux discussions de la Société, cette manœuvre à vide était absolument prohibée par M. le professeur Guye, de Genève, et par les Ingénieurs anglais.

» Il faut donc, si les câbles armés constituant la ligne n'ont pas été, après pose, essayés au double de la tension, régler les limiteurs suffisamment bas pour limiter la tension à 1,50 environ ou employer des appareils de mise en marche analogues à ceux des Américains ou à celui de la maison Siemens, dont M. Blondel nous a montré un schéma.

» Par exemple, MM. Potier et Blondel (1) ont préconisé l'insertion provisoire de résistances en shunt ou en série sur le câble au moment de la fermeture.

» *Mise en route des alternateurs.* — Il est bon de rappeler ici, bien qu'elle n'ait pas fait l'objet d'une discussion devant la Société, la recommandation de M. Field pour les mises en route : mettre d'abord l'alternateur en pleine vitesse sur le réseau et augmenter progressivement l'excitation jusqu'à ce que la tension atteigne sa valeur normale.

» Ce procédé revient, en somme, à insérer une résistance sur le câble conformément à la recommandation précitée.

» D'autre part, des accidents se sont produits sur des réseaux où on laissait varier la vitesse des alternateurs lors de la mise en marche ou de l'arrêt, ce qui paraît dû, d'après un des oscillogrammes publiés dans le *Bulletin* d'août 1903, au passage d'un harmonique par les conditions de résonance.

(1) BLONDEL, *Remarques sur les phénomènes oscillatoires des réseaux*, avril 1905, p. 579.

» *b. Ouverture d'interrupteur.* — M. Picou a montré que le cas le plus défavorable était celui de l'ouverture en pleine charge, au moment du maximum du courant et au bout de la ligne avant les récepteurs. Cette manœuvre déterminerait, surtout dans les lignes aériennes à faible capacité, des surtensions considérables.

» L'ouverture, faite au départ de la ligne près de l'alternateur, déterminerait des surtensions beaucoup moindres, grâce à l'amortissement produit par les récepteurs; cet amortissement serait d'autant plus marqué que la charge des récepteurs serait plus grande.

» Le résultat dépendra, principalement, de la valeur du courant au moment de la rupture.

» Or, des expériences de M. David ont montré que l'interrupteur à huile semble toujours couper le courant au voisinage de son passage à zéro. C'est également ce qui résulte des oscillogrammes relevés en Angleterre, séparément, par M. Wilson et par M. Duddell.

» L'interrupteur à air ne produit, au contraire, d'après les expériences de M. David, l'ouverture définitive du circuit qu'au bout de deux périodes ou de deux périodes et demie au minimum, lorsque l'arc ne monte pas entre les antennes. Au cas contraire, l'arc peut persister pendant un très grand nombre de périodes.

» Il est probable, comme M. Potier l'a fait remarquer, que l'arc, se rallumant plus facilement dans l'air que dans l'huile, détermine un régime pseudo-periodique pouvant produire des surtensions.

» Or, M. Blondel⁽¹⁾ a montré que, dans ce cas de persistance, l'extinction de l'arc est d'autant plus dangereuse qu'elle est plus brusque, et la surtension d'autant plus marquée que la tension de régime est plus basse.

» Il a montré aussi que, en général, une rupture lente amène l'extinction sans oscillation par suite de l'augmentation de l'amortissement par la résistance croissante de l'arc.

» Pour lui, la question principale est de savoir si la rapidité d'écartement des pièces mobiles est assez faible pour que la ten-

(1) BLONDEL, *Remarques sur les phénomènes oscillatoires des réseaux*, août 1905, p. 519.

sion d'éclatement, correspondant à leur distance, reste inférieure à tout moment à la surtension résultant de l'oscillation propre.

» Dans ce cas, l'arc restera allumé ; au cas contraire, la rupture est brusque, et peut se produire avant le passage par zéro du courant de l'arc.

» L'expérience de certains directeurs de réseaux, de M. Brylinski notamment, tend à confirmer la préférence à donner aux ruptures lentes.

» Dans les essais de M. David, l'ouverture des interrupteurs au bout de la ligne a amené des surtensions de 20 pour 100 environ.

» L'expérience des exploitations ne révèle pas, en somme, que les ouvertures d'interrupteurs, tant à air qu'à huile, soient une cause fréquente d'accidents.

» Pour plus de sûreté, il sera bon de donner la préférence aux interrupteurs à huile et, si l'on adopte les interrupteurs à air, de se conformer aux recommandations suivantes, formulées par M Blondel :

» 1° Réduire d'autant plus la vitesse d'écartement des contacts d'un interrupteur à air que la tension normale de marche est plus basse ;

» 2° Les à-coups sur le réseau étant d'autant moins marqués que la tension de rallumage est plus faible, employer des pare-étincelles en charbon, et le cuivre de préférence aux autres métaux à point de rallumage plus élevé.

» *c. Extinction d'un court-circuit.* — M. Picou a signalé les surtensions très considérables provenant de l'entrée en jeu, dans ce cas, de la période propre du réseau.

» La tension atteinte dépend de la valeur de l'intensité du court-circuit au moment de l'extinction. Elle serait énorme si l'arc de court-circuit, dans un câble ou dans un appareil, ne s'éteignait, en général, au voisinage du passage par zéro.

» M. Picou remarque que la valeur de l'énergie oscillante est, en effet, déterminée seulement par la self-induction, et il préconise, à ce point de vue, l'augmentation de la capacité par l'adjonction au réseau de condensateurs industriels.

» L'expérience des exploitants montre que l'extinction des

courts-circuits produits dans les réseaux par une raison quelconque est la cause la plus fréquente des accidents ⁽¹⁾.

» Certains réseaux, alors que ces questions étaient encore mal connues, sautaient simultanément en quatre ou cinq points souvent très éloignés les uns des autres et situés sur des câbles différents.

» On y a remédié :

» Soit en n'employant que des câbles essayés au moins au triple de la tension de marche, soit en munissant le réseau de limiteurs réglés bas.

» Il paraît résulter de ces observations d'ordre pratique :

» 1° Qu'un réseau isolé au triple de la tension normale résiste aux surtensions de répercussion ;

» 2° Qu'un certain nombre de limiteurs, placés par exemple au tableau de l'Usine et dans les Sous-Stations et réglés à 1,5 fois la tension du régime protègent les câbles contre les répercussions.

» Les remarques de M. Potier sur l'utilité des résistances non inductives insérées entre les conducteurs du câble s'appliquent encore ici.

» Enfin, M. Potier a fait observer que les ondes, qui, pour une cause quelconque, perturbatrice du régime permanent, se propagent dans un réseau, le font suivant un front plus ou moins incliné, susceptible de déterminer, pendant un temps très court, une différence de potentiel considérable entre deux spires voisines d'un appareil récepteur auquel l'onde parvient. Il peut en résulter une rupture de l'isolant souvent attribuée, à tort, à un défaut de construction ⁽²⁾.

(1) D'après M. Blondel, c'est moins l'extinction du court-circuit qui est dangereuse que le phénomène de l'arc chantant ou de l'étincelle oscillante auquel donne lieu un court-circuit prolongé; cet arc chantant produit, en effet, des surtensions périodiques qui, sans être très considérables en valeur absolue, fatiguent beaucoup le câble lorsque le court-circuit n'est pas franc.

(2) D'après M. Blondel, la question des ondes stationnaires sur les lignes fonctionnant presque à vide, en cas de court-circuit au départ, n'est pas encore complètement élucidée, et il se réserve de nous faire connaître dans quelque temps des résultats intéressants à ce sujet.

III. — DÉCHARGES ET INFLUENCES ATMOSPHÉRIQUES DANS LES RÉSEAUX AÉRIENS EN TOTALITÉ OU EN PARTIE.

» D'après les règles expérimentales, généralement adoptées et rappelées par M. Dusaughey⁽¹⁾, il importe de dévier directement vers la terre, à travers une très faible résistance non inductive, la décharge atmosphérique, et de protéger au contraire, par une forte self-induction, les génératrices, les transformateurs et récepteurs divers et les têtes de câbles souterrains.

» Nous examinerons plus loin les détails de construction des parafoudres et nous rappellerons ici que M. Dusaughey est, conformément à l'expérience des diverses stations centrales, très nettement partisan de la simplification des protections des lignes ; les parafoudres, surtout lorsqu'ils ne sont pas parfaitement installés, constituent en effet une cause de dérangements pour les réseaux.

» Il recommande donc d'en mettre seulement à l'Usine, aux sous-stations, à la tête des traversées souterraines et, exceptionnellement, en des points souvent frappés. Il cite, en particulier, des lignes aériennes dépourvues de toute protection spéciale sur une longueur de 20 km à 30 km et qui ne donnent lieu à aucun accident.

» Pour le surplus, il recommande de soigner particulièrement l'installation des isolateurs et d'essayer ceux-ci, dans l'eau, à quatre ou cinq fois la tension de marche. Il faut toutefois remarquer que cette tension paraît bien élevée pour les très hautes tensions de régime et que l'isolateur périt le plus souvent par des causes physiques.

DEUXIÈME PARTIE. — DÉTAILS DE CONSTRUCTION DES PARAFOUDRES ET LIMITEURS.

» Voici les diverses recommandations exprimées par M. Dusaughey et qui n'ont pas, à ma connaissance, soulevé de contradictions :

» 1° *Parafoudres*. — Les parafoudres, ayant pour objet de

⁽¹⁾ DUSAUGEY, *Méthodes de protection contre les surtensions actuellement employées pour les réseaux de transport d'énergie*, février 1905, p. 109.

dévier à la terre une décharge pouvant présenter une grande fréquence, une grande intensité et une forte tension, devront avoir une résistance et une self-induction aussi faibles que possible et être réglés pour une tension égale à quatre ou cinq fois la tension normale.

» La terre devra être réalisée par une plaque de cuivre dans un puisard rempli de coke humide.

» Le tracé du fil de terre devra être aussi rectiligne que possible.

» Les appareils parafoudres eux-mêmes seront abrités dans un endroit clos.

» Pour empêcher la décharge de parvenir aux appareils divers ou aux câbles, on les protégera par une self-induction.

» Celle-ci sera constituée, soit en enroulant, en une spirale très soigneusement isolée, la barre conductrice constituant la ligne, soit en la coudant à angles vifs.

» Le parafoudre peut être à antennes et intervalle unique, ou à intervalles multiples, suivant qu'il comprend un ou plusieurs intervalles d'air.

» Ces intervalles, de quelques millimètres, sont compris entre des pièces cylindriques, en cuivre ou en alliage anti-arc : cuivre, zinc, antimoine, lequel ne se creuse ni ne se boursoufle au passage de l'étincelle, mais présente l'inconvénient, signalé par M. Blondel, d'augmenter la surtension au moment du rallumage.

» Les parafoudres à intervalles multiples et ceux à intervalle unique avec antennes ont tous deux leurs partisans.

» Aux Etats-Unis notamment, le parafoudre à antennes, longtemps méprisé, commence à être vu avec faveur.

» 2° *Limiteurs*. — Les limiteurs sont destinés à s'opposer aux surtensions prenant naissance dans le réseau ou dues à des influences atmosphériques.

» La quantité d'énergie qu'ils doivent écouler à la terre est incomparablement moindre que celle qui traverse un parafoudre au moment d'une décharge et, d'autre part, ils doivent amortir aussi rapidement que possible les oscillations propres.

» Il est donc nécessaire, et d'ailleurs, sans inconvénient, d'y insérer, en série, une forte résistance.

» Les limiteurs sont discontinus, comme les parafoudres, ou continus à filet d'eau.

» *a. Limiteurs discontinus.* — La résistance pourra être liquide (eau additionnée d'une solution l'empêchant de croupir), ou métallique (fil baignant dans l'huile), ou en charbon (cylindres de graphite), ou en carborundum⁽¹⁾.

» La valeur à donner à la résistance, pour une tension de régime donnée, est actuellement très mal définie, et varie beaucoup d'un constructeur à l'autre, comme en témoignent les chiffres suivants, relevés par M. David :

Parafoudre Westinghouse pour 3000 volts (6 espaces d'air entre cylindres quadrillés).

Résistance série (en maillechort).....	86 ohms
Résistance dérivée entre les cylindres 4 et 7 (en fer).	138 »

Parafoudre Gola (la tension normale de fonctionnement ne m'a pas été indiquée).

2 crayons de charbon du moins en apparence ayant une	
résistance totale de.....	1180 ohms

Parafoudre Garton, type M. G. (sans doute pour 500 volts).

1 crayon de charbon ayant....	2,8 ohms
-------------------------------	----------

Parafoudre General Electric Cy, pour 20000 volts.

8 crayons de charbon en apparence ayant une résis-	
tance totale de.....	2400 ohms

» Nous espérons que le Laboratoire Central pourra, un jour, poursuivre les études que M. David a commencées à l'instigation de M. Desrozières et mettre au point cette question des résistances.

» M. Blondel indique que, pour assurer l'étouffement de l'arc, l'augmentation de valeur de la résistance en série est préférable à l'emploi, pour les pièces limitant les intervalles, de métaux anti-arc.

» Ces métaux ont, en effet, l'inconvénient d'agir en remontant la tension de rallumage de l'arc et, par suite, d'augmenter l'importance des surtensions auxquelles les rallumages successifs donnent naissance.

(1) Ces deux derniers modes peuvent présenter quelques dangers d'incendie (Blondel).

» *b. Limiteurs continus à filet d'eau.* — Ils sont constitués simplement par un filet d'eau courante, relié d'un côté à la terre et de l'autre à la ligne à protéger, établissant ainsi une dérivation permanente et réglable.

» On est arrivé, dans certaines installations, pour obtenir une protection suffisante, à abaisser notablement la résistance de cette dérivation.

» M. David a cité une installation de 7000 chevaux dans laquelle on consent une perte constante de 75 kilowatts par les limiteurs continus.

» *Réglage des limiteurs.* — Les limiteurs doivent être réglés plus ou moins bas, suivant la tension à laquelle les câbles du réseau ont été essayés après pose.

» *Emplacement des limiteurs.* — On en placera d'abord au tableau de l'usine et aux sous-stations les plus éloignées, puis, si l'expérience en montre la nécessité, on en ajoutera successivement dans les sous-stations intermédiaires.

» Il sera bon, dans les réseaux aériens, de combiner les postes de parafoudres avec les postes de limiteurs, ceux-ci comprenant deux limiteurs de types différents montés en dérivation.

TROISIÈME PARTIE. — CABLES.

» Nous ne nous occuperons que des câbles isolés à la cellulose imprégnée et sous plomb, seuls employés aujourd'hui dans l'établissement des réseaux.

» La question intéressante pour l'exploitant est de savoir quels essais sont à imposer pour obtenir des câbles un service sûr et durable.

» La quatrième Section a discuté cette question en 1902, sous la présidence de M. Sartiaux (1).

1. — ESSAIS D'ISOLEMENT.

» 1° *Essais à l'usine.* — Tous les membres qui prirent part à la discussion furent unanimes à condamner les chiffres élevés d'iso-

(1) *Discussion sur les canalisations électriques*, janvier et février 1905.

lement imposés à cette époque par les cahiers des charges et à reconnaître que l'essai d'isolement à l'usine intéresse, presque uniquement, le constructeur de câbles, comme contrôle de la fabrication.

» Les essais effectués sur le réseau de Nice par M. de Marchena et dont il a récemment rendu compte ⁽¹⁾, ont confirmé qu'un isolement de 500 mégohms au kilomètre était parfaitement suffisant pour assurer le fonctionnement à 25 000 volts des câbles sous cellule imprégnée.

» M. Picou avait proposé d'imposer une certaine régularité dans l'isolement d'une série de bobines de même fabrication, l'isolement ne devant pas différer, de l'une à l'autre, de plus de 25 pour 100.

» M. Gay fit remarquer, dans une communication ultérieure ⁽²⁾, que la valeur de cet essai était illusoire.

» En pratique, les différences d'isolement entre les bobines sont beaucoup plus importantes et la variation avec la température est si marquée qu'une faible erreur d'appréciation sur celle-ci peut entraîner pour l'isolement une différence de plus de 25 pour 100.

» Le seul essai qu'un exploitant ait réellement intérêt à imposer à l'usine est l'essai à la rupture.

» 2° *Essais après pose.* — L'essai d'isolement après pose est utile pour contrôler le travail de mise en place du câble et de confection des boîtes.

» Il y a même intérêt à exécuter, lorsque cela est possible, les mesures d'isolement au fur et à mesure de l'avancement de la pose, en partant de l'usine. (M. Brylinski.)

» Le chiffre minimum d'isolement à exiger pourra être de 500 mégohms par kilomètre au maximum pour les feeders, même à très haute tension, et très inférieur pour les câbles de distribution.

» Dans ce dernier cas, en effet, on mesure en réalité l'isolement des boîtes de distribution et de branchement, que les dépôts d'hu-

(1) DE MARCHENA, *Limites admissibles pour les tensions de service des câbles armés*, mai 1906.

(2) GAY, *Discussion sur les canalisations*, mars 1902, p. 235.

midité et de poussière font tomber très au-dessous de l'isolement du câble lui-même.

» L'isolement minimum exigé pour un câble de distribution serait, logiquement, exprimé par une fonction inverse du nombre de branchements et ne devrait pas dépasser, au maximum, une centaine de mégohms.

II. — ESSAIS DE RUPTURE.

» Ces essais, à l'usine et après pose, sont considérés maintenant comme présentant seuls un intérêt réel pour l'exploitant.

» 1° *Essai à l'usine.* — Cet essai doit être appliqué à tous les câbles, même à ceux ne devant fonctionner qu'à 110 volts. (M. Gay.)

» Ceux-ci devront être essayés, au minimum, entre 1000 et 1500 volts. Pour les réseaux de 1000 à 20000 ou 25000 volts, nous avons vu que le coefficient de sécurité du triple semble bien mettre les câbles à l'abri de tous les accidents d'origine diverse.

» Le coefficient du double suffit dans certains réseaux où les résonances sont rares, mais il s'est montré insuffisant dans d'autres, même munis de limiteurs.

» Les manipulations du transport et de la pose ont pour effet d'aplatir et de fissurer l'isolant, en sorte que les câbles essayés au double peuvent, une fois posés, ne plus supporter les surtensions de fermeture, à moins d'un réglage trop bas des limiteurs qui expose à des courts-circuits fréquents.

» Pour les tensions de régime supérieures à 20000 volts, MM. Brylinski ⁽¹⁾ et de Marchena ⁽²⁾ admettent que les surtensions peuvent être représentées approximativement par une constante ajoutée à la tension de régime.

» M. Potier estimait, en concordance avec cette opinion, et, peut-être, avec un peu d'optimisme, qu'il suffirait d'essayer à 36000 volts des câbles destinés à supporter normalement

⁽¹⁾ BRYLINSKI, *Sur les réseaux alternatifs*, mars 1905.

⁽²⁾ DE MARCHENA, *Limites admissibles pour les tensions de service des câbles armés*, avril 1906, p. 26.

25 000 volts, en les munissant de limiteurs réglés pour fonctionner sûrement à 30 000 volts.

» Toutefois, les conclusions de MM. Brylinski et de Marchena n'ont pas encore reçu la sanction expérimentale et, au point de vue théorique, M. Blondel est d'un avis opposé : pour lui, les surtensions restent strictement proportionnelles à la tension de marche. On ne pourra donc procéder qu'avec une extrême prudence à la réduction des coefficients de sécurité au delà de 25 000 volts.

» Dans les installations triphasées, il y a tout intérêt à mettre le point neutre à la terre en un point unique. (Si on l'y mettait en plusieurs points, l'harmonique 3 et ses multiples donneraient des courants de circulation.)

» Lorsque le point neutre est mis à la terre, le potentiel de l'un quelconque des conducteurs ne peut être porté, par la mise à la terre accidentelle de l'un des deux autres, à un potentiel très supérieur.

» Il n'y a donc pas nécessité, dans ce cas, d'appliquer entre conducteur et plomb le même coefficient qu'entre conducteurs.

» On pourrait, par exemple, l'abaisser d'un tiers, ce qui permettrait au fabricant de diminuer le prix de vente en réduisant l'isolant entre conducteurs et plomb.

» 2° *Essai après pose.* — D'après ce qui a été dit ci-dessus, le coefficient de sécurité du double paraît s'imposer au moins jusqu'à 20 000 volts de tension de régime. Les données expérimentales manquent encore pour des tensions supérieures.

» *Dispositifs à prendre pour l'essai de rupture.* — Il est important de s'assurer d'abord que l'installation d'essai ne produit pas elle-même de résonances d'harmoniques déterminant une tension réelle supérieure au chiffre indiqué par le voltmètre. Ces derniers appareils, comme M. Brylinski l'a rappelé, ne donnent souvent pas d'indications exactes pour les fréquences élevées.

» Il sera bon, à cet effet, de surveiller la courbe de tension à l'aide de l'oscillographe pendant toute la durée de l'essai.

» Si, à un moment donné, des dentures se produisent sur la courbe, on les fera disparaître en insérant une résistance sur l'enroulement à basse tension du transformateur.

» Il sera spécialement utile de surveiller la tension dans l'essai après pose, surtout si l'on emploie, pour fournir le courant de charge, une installation de faible puissance dont la fréquence peut se modifier si le courant de charge est considérable et qui souvent introduit des harmoniques dangereux.

» La tension devra être montée progressivement sur le câble en agissant sur une self-induction ou sur un rhéostat dans le circuit à basse tension du transformateur d'essai ou, à la rigueur, sur l'excitation de l'alternateur.

» *Essai de rupture proprement dit.* — Il y a intérêt à connaître la marge de rigidité diélectrique dont on dispose avec un câble donné.

» Mais l'exagération de tension fatigue les isolants en ce sens que la couche intérieure, soumise au maximum de variation de potentiel, peut céder sous l'effluve sans qu'un court-circuit se produise, le câble restant seulement trop affaibli pour résister aux surtensions ultérieures.

» Il faudra donc opérer, non sur des bobines entières, mais sur des tronçons de quelques mètres de longueur, comme le recommande M. de Marchena.

» On n'obtiendra du reste ainsi qu'un renseignement très approximatif, l'expérience montrant que la tension de rupture diffère beaucoup d'un tronçon à l'autre d'une même bobine.

» De récentes recherches exécutées en Allemagne semblent même montrer que les tensions de rupture atteintes sur des fragments successifs d'un câble suivent les lois du calcul des probabilités.

» *Durée de l'essai.* — La prolongation de l'essai fatigue le diélectrique. Il faut donc, si l'on dépasse le triple de la tension normale, ne le faire que pendant quelques secondes et redescendre de suite au triple, chiffre que l'on maintiendra pendant une heure environ.

» Cet essai prolongé décèlera les points faibles qu'aura pu déterminer l'essai en pointe.

DISPOSITIF PARTICULIER POUR LA POSE.

» M. de Marchena préconise le tirage du câble simplement re-

couvert de plomb dans une conduite de maçonnerie. Cette pratique, très employée en Angleterre et en Amérique, permet de constater l'état du câble au moment même de sa mise en place.

PLOMBS FUSIBLES ET DISJONCTEURS.

» Dans les boîtes de distribution et au départ des lignes, il y aura lieu de supprimer complètement les plombs fusibles, qui peuvent fondre intempestivement. De cette fusion résultent, dans les réseaux triphasés, des dissymétries dangereuses et, dans les réseaux en général, des surtensions par étouffement de l'arc.

» Il faut les remplacer par des disjoncteurs qui, dans les réseaux triphasés, seront combinés de manière à couper les trois phases en cas de court-circuit sur l'une d'elles.

» Telles sont les dispositions qui paraissent, pour le moment, à conseiller dans l'intérêt de la sécurité des exploitations.

» Qu'il me soit permis d'exprimer ici le vœu que, à défaut des constructeurs, dont la réserve peut jusqu'à un certain point s'expliquer, les exploitants, membres de notre Société, nous aident à compléter et à préciser la liste de ces dispositions, en nous faisant connaître, au jour le jour, les difficultés qu'ils rencontrent et les moyens qu'ils proposent pour les surmonter.

» Chacun pourrait ainsi profiter des écoles faites par le voisin au lieu d'avoir à les recommencer pour son propre compte au grand dommage de ses actionnaires ou de ses fournisseurs. »

TABLE DES COMMUNICATIONS ET DISCUSSIONS PUBLIÉES AU *Bulletin de la Société* ET RELATIVES A L'EXPLOITATION DES RÉSEAUX.

« Rapport sur les travaux de la 4^e section, M. Sartiaux. Janvier 1902.

» Discussion sur les canalisations électriques, MM. Grosselin, Gay, Brylinski, Picou, Geoffroy et Delore. Février 1902, p. 104.

» Note sur les essais de câbles électriques, M. Charpentier. Mars 1902, p. 204.

» Discussion sur les canalisations électriques souterraines, M. Gay. Mars 1902, p. 235.

» Étude oscillographique des phénomènes de résonance dans les cir-

cuits électriques (Résumé d'une publication dans le *Journal of the Institution of Electrical Engineers* de Juin 1903). Août, Septembre, Octobre 1903, p. 358.

» Surtension dans les canalisations électriques, M. Picou. Mai 1904, p. 267. Discussion, MM. Brylinski, Potier, Boucherot, Blondel. Mai 1904, p. 290.

» Discussion sur les surtensions, MM. de Marchena, Brylinski, Guéry, Potier, Picou. Juin 1904, p. 359.

» Sur les étouffeurs d'harmoniques, M. Leblanc. Janvier 1905, p. 17.

» Sur les transformateurs, M. Brylinski. Janvier 1905, p. 41.

» Recherches oscillographiques effectuées par le Laboratoire Central d'Électricité sur le réseau à haute tension de la Compagnie de l'Énergie électrique du littoral méditerranéen, M. David. Janvier 1905, p. 51.

» Méthodes de protection contre les surtensions actuellement employées dans les réseaux de transport d'énergie, M. Dusaugéy. Février 1905, p. 109.

» Sur les réseaux alternatifs à haute tension, M. Brylinski. Mars 1905, p. 149.

» Remarques à propos des expériences de M. David, M. Blondel. Mars 1905, p. 207.

» Remarques sur les phénomènes oscillatoires des réseaux, influence des propriétés de l'arc électrique, M. Blondel. Avril 1905, p. 299 et Août, Septembre, Octobre 1905, p. 549.

» Observations, MM. Brylinski, Boucherot. Id., p. 326.

» Résultats d'expériences sur l'établissement du régime dans les transformateurs, M. Johann. Juin 1905, p. 469 et Août, Septembre, Octobre 1905, p. 579.

» Limites admissibles pour les tensions de service des câbles armés, M. de Marchena. Avril 1906, p. 163.

» Discussion de la communication de M. de Marchena. Mai 1906. MM. Brylinski, Grosselin, Boucherot. »

M. le PRÉSIDENT remercie M. Grosselin qui a bien voulu résumer d'une manière si claire et si précise les recommandations résultant de discussions qui font honneur à la Société.

La séance est levée à 10^h 45^m du soir.

INFORMATIONS.

Répondant aux désirs exprimés à diverses reprises par les membres de la Société, le Bureau a décidé de publier dans le *Bulletin* l'annonce des offres et demandes d'emploi.

Les annonces seront insérées dans une feuille spéciale encartée dans le *Bulletin*; elles devront être déposées au secrétariat, rue de Staël, 14, avant la séance mensuelle, afin d'être publiées dans le numéro du mois.

L'annonce des offres et demandes d'emploi est exclusivement réservée aux membres de la Société.

Par suite d'une entente avec un grand nombre d'éditeurs la Société a obtenu que des réductions importantes soient consenties à ses membres sur le prix des ouvrages de librairie.

La liste des éditeurs qui ont bien voulu accorder ces remises sera publiée dans le prochain numéro du *Bulletin*.

BIBLIOGRAPHIE.

La machine dynamo à courant continu, par E. ARNOLD. Traduction française par E. Boistel et E.-J. Brunswick. Tome second, 1 vol. 160 × 240 de 740 pages. Paris-Liège, Ch. Béranger, éditeur.

Il y a un an environ, les traducteurs de l'ouvrage célèbre d'Arnold donnaient le Tome premier, consacré à la *Théorie de la machine à courant continu*, et comprenant en particulier l'étude théorique des enroulements, l'analyse des phénomènes de commutation, le calcul des caractéristiques, etc. Le Tome second, dont la traduction vient de paraître, a pour objet d'initier le lecteur à la réalisation pratique de la dynamo. Cette initiation, très logiquement menée, comporte plusieurs phases.

Dans la première Partie, l'auteur décrit les organes de la dynamo et en étudie la construction en détail. De la sorte, le lecteur apprend d'abord à connaître ce qui se fait, et il se forme des différentes parties de la machine une représentation concrète et judicieuse. La prédétermination par le calcul ne risquera donc plus dans la suite de l'entraîner hors des proportions raisonnables consacrées par l'expérience. De nombreuses reproductions de dessins d'exécution ou de photographies, qui parfois gagneraient à plus de netteté dans l'impression, peuvent donner au lecteur l'illusion d'une très intéressante et très complète visite dans les ateliers de construction allemands.

Après cette introduction expérimentale, la théorie électrique, désormais pourvue d'une base solide, reprend ses droits, et l'auteur traite, dans la deuxième Partie, du calcul de la dynamo : choix de l'enroulement, détermination des dimensions principales, études de détail, calcul des rhéostats, etc.

La troisième Partie, consacrée à l'essai de la machine, est un exposé complet, avec exemples numériques nombreux, des méthodes les plus récentes employées pour la détermination des constantes principales, de l'échauffement et des pertes. L'étude du courant de commutation y est traitée avec quelque détail.

La quatrième Partie, moins complète que les précédentes, il fallait bien se limiter, passe en revue les applications de la dynamo motrice ou génératrice, et signale les propriétés caractéristiques des principaux types de machines.

Tel quel, le livre comporte tout l'intérêt que lui assure l'autorité de son auteur et celle de ses traducteurs, qui ont apporté dans leur traduction la conscience et le soin que méritait un ouvrage aussi important. « L'attrait que nous a offert la traduction de ce remarquable ouvrage, nous disent-ils, en retenant notre persévérante attention, nous donne l'espoir que les lecteurs l'apprécieront à sa juste valeur, en y voyant le couronnement de l'effort technique et industriel en matière de construction et d'utilisation de la machine dynamo à courant continu. »

LISTE DES OUVRAGES

OFFERTS A LA SOCIÉTÉ INTERNATIONALE DES ÉLECTRICIENS.

(Suite.)

La Bibliothèque est ouverte aux Membres de la Société. tous les jours
de 2 heures à 5 heures. excepté les dimanches et jours de fêtes,
12, rue de Staël.

France.

- Construction des induits à courant continu, partie mécanique*, par E.-J. BRUNSWICK et M. ALIAMET. Paris, Gauthier-Villars, Masson et C^{ie}, [s. d.] 1906, 1 vol. in-16, broché. (*Encyclopédie scientifique des Aide-Mémoire.*) (Don des auteurs.)
- Électricité (l') industrielle mise à la portée de l'ouvrier*, par E. ROSENBERG. Traduit de l'allemand par A. MAUDUIT. 2^e édition, augmentée d'un complément. Paris, H. Dunod et E. Pinat, 1906; 1 vol. pet. in-8, broché. (Don des éditeurs.)
- Mise en valeur des moyennes et basses chutes d'eau en France. La houille verte*, par Henri BRESSON. Préface de M. Max de Nansouty. Paris, H. Dunod et E. Pinat, 1906; 1 vol. in-8, broché. (Don des éditeurs.)
- Machines (Les) d'extraction électrique au Congrès international des Mines de Liège*, par A. LIÉNARD [sans lieu ni date]. (Extrait de la *Revue universelle des Mines*, t. XI.) 1 brochure in-8. (Don de l'auteur.)
- Moteurs à collecteur à courants alternatifs*, par le Dr F. NIETHAMMER. Paris, édité par l'*Éclairage électrique*, 1906; 1 vol. in-8°, broché. (Don de l'éditeur.)
- Physique (La) moderne. Son évolution*, par Lucien POINCARÉ. Paris, E. Flammarion [s. d.]. 1906; 1 vol. in-8°, broché. (*Bibliothèque de Philosophie scientifique.*) (Don de l'éditeur.)
- Préfecture de la Seine, Ville de Paris. Régime futur de l'Électricité, mémoire du Préfet de la Seine au Conseil municipal sur une proposition des Secteurs*. Paris, Imp. Paul Dupont, 1906; 1 vol. in-4, broché. (Don du Préfet de la Seine.)

Tremblements (les) de terre, leur origine électrique possible. Les tremblements de terre au Pérou, par Emile GUARINI. Paris, en vente chez H. Dunod et E. Pinat, 1906; 1 brochure in-8. (*Don des éditeurs.*)

Étranger.

A evolução do alumiento maritime e dos signaos de nevoeiro para provenção aos navegantes, por J. da P. CASTANHEIRA DAS NEVES. Lisboa, Imp. Nacional, 1906; 1 vol. in-8, broché. (*Don de l'auteur.*)

L'Équilibre des fils électriques. Conditions de pose, par Auguste PILLONNEL. Zurich, Imp. Fritz Amberger, 1906; 1 brochure grand in-4. (Extrait de la *Schweizerische Elektrotechnische Zeitschrift.*) (*Don de l'auteur.*)



BULLETIN

DE LA

SOCIÉTÉ INTERNATIONALE

DES

ÉLECTRICIENS.

SOMMAIRE.

Voyage en Grande-Bretagne (M. Brylinaki), p. 365. — Étude sur le rapport des trois lampes Carcel, Hefner et Vernon-Harcourt (MM. Laporte et Jouaust), p. 375. *Appendice*, p. 390.
ÉCOLE SUPÉRIEURE D'ÉLECTRICITÉ. — Liste des Élèves ayant obtenu le diplôme d'ingénieur électricien, p. 393.
INFORMATIONS, p. 394.
BIBLIOGRAPHIE, p. 397.

VOYAGE EN GRANDE-BRETAGNE.

PAR M. BRYLINSKI.

« Les membres de la *Société internationale des Électriciens* ont été mis au courant, par la voie du *Bulletin*, de l'invitation que leur avait aimablement adressée l'*Institution of Electrical Engineers*. Maintenant que le voyage est terminé, il nous paraît utile de leur en rendre compte sommairement, ne fût-ce que pour les engager à s'y retrouver plus nombreux au cas où semblable occasion viendrait à se représenter, pour leur plus grand agrément personnel en même temps que pour marquer la vitalité de la *Société internationale des Électriciens*.

» Le voyage était divisé en deux parties bien distinctes : un séjour de trois jours pleins à Londres et un voyage circulaire de dix jours en Grande-Bretagne.

» Le séjour à Londres, qui a réuni naturellement plus de membres que le voyage circulaire, avait été réglé de façon à coïncider avec une séance de la *Commission électrotechnique internationale*. Nous laisserons à la plume autorisée de M. Janet le soin d'exposer cette question très importante, mais très spéciale, aux lecteurs du *Bulletin*, et nous nous bornerons à parler du voyage des membres ordinaires.

» Pour le séjour à Londres, le bureau de notre *Société* était représenté par trois anciens présidents : MM. Carpentier, Hospitalier et Pollard et deux vice-présidents : MM. Brylinski et Grosselin. La plupart des membres français sont arrivés le dimanche 24 juin dans la soirée ; ceux qui sont arrivés à 5 h ont encore trouvé ouvert le Bureau central du Comité de l'*Institution of Electrical Engineers*, bien qu'il dût, d'après le programme, fermer dès 4 h, et y ont reçu le plus aimable accueil. Cette cordialité ne s'est d'ailleurs jamais démentie et, pendant tout le voyage, les membres de notre *Société* ont été l'objet d'attentions constantes de la part de l'*Institution of Electrical Engineers*.

» La matinée du lundi 25 juin a été employée à se retrouver entre membres de la *Société*, à faire un tour dans Londres et, pour quelques-uns, à se rendre compte du système de traction *Raworth* à récupération.

» L'après-midi, nous avons été conduits par omnibus automobiles et train spécial à Teddington, où nous avons assisté à l'inauguration des nouveaux laboratoires électrotechniques du *National Physical Laboratory* par l'Honorable R.-B. Haldane, Ministre de la Guerre. Après avoir visité les divers locaux du laboratoire, installé dans un parc magnifique, et pourvu pour la circonstance de plusieurs excellents buffets, nous avons été ramenés à Waterloo Station par train spécial.

» La soirée a été consacrée à un banquet offert par l'*Institution of Electrical Engineers* aux membres des sociétés étrangères qui avaient entrepris le voyage de Londres. Ce banquet, réunissant environ 500 personnes dans une salle magnifique et admirablement servi, constituait de la part de nos hôtes anglais une réception de haute envergure. De nombreux toasts furent prononcés, au cours desquels M. E. Hospitalier, obligé de remplacer à l'improviste

M. Auzépy, consul général de France, prit la parole au nom de la *Société internationale des Électriciens*.

» Le mardi 26 juin fut consacré à des visites d'usines, pour lesquelles les membres furent divisés pendant la matinée en cinq groupes, visitant respectivement : le *Post-Office* (installations télégraphiques et téléphoniques) et le bureau de London Wall de la *National Telephone Co*, l'usine génératrice de Greenwich du *London County Council*, l'usine génératrice de Bow de la *Charing Cross, City and West End Electric Supply Co*, l'usine génératrice de Lot's Road, Chelsea, de la *Underground Electric Railways Co*, et enfin l'usine génératrice de Shepherd's Bush de la *Central London Railway Co*.

» La plupart des membres se retrouvèrent au Ship Hôtel, à Greenwich, pour le lunch et, après avoir visité le tunnel de Blackwall sous la Tamise et le Royal Naval College et Greenwich Hospital, rentrèrent à Londres par les bateaux à vapeur du *London County Council*.

» Après le diner avait lieu la soirée annuelle de l'*Institution of Electrical Engineers*, à l'occasion de laquelle cette *Institution* offrait une réception aux membres étrangers, au Musée d'Histoire naturelle, à South Kensington.

» Le mercredi 27 juin fut une journée de repos entre les visites techniques de la veille et le voyage circulaire qui commençait le lendemain.

» Un train spécial nous emmena à Windsor, où nous fûmes admis à visiter l'antique château, si fièrement campé sur la hauteur qu'il couronne, et la plus grande partie des appartements royaux. Nous aurions sans doute eu l'honneur d'être présentés à S. M. le roi Edouard VII, s'il avait été en résidence à Windsor à ce moment.

» Après un lunch plantureux au White Hart Hôtel, plusieurs bateaux spéciaux nous emmenèrent faire une délicieuse promenade sur le cours supérieur de la Tamise jusqu'à Maidenhead et Cookham. Nous avons beaucoup admiré ce parcours, où le fleuve est bordé de propriétés merveilleusement entretenues dont la vue est un vrai régal pour les yeux.

» L'*Institution of Civil Engineers* avait eu la gracieuseté de nous inviter à sa soirée annuelle, mais la fatigue des jours précédents et

la nécessité, très prosaïque mais combien urgente, de faire les malles pour qu'elles fussent prêtes de bonne heure le lendemain matin, empêchèrent le plus grand nombre d'entre nous de se rendre à cette soirée.

» Le jeudi matin, 28 juin, nous prenions possession de ce magnifique train spécial, composé uniquement de wagons-salons, qui resta à notre disposition pendant tout le voyage, et où nous avons passé tant de bonnes heures à causer entre collègues. A 8h 15m il quittait la gare d'Euston, et, comme la nature ne perd jamais ses droits dans un voyage aussi parfaitement organisé, le déjeuner nous était immédiatement servi dans le train.

« Car que faire en un train, à moins que l'on n'y mange », a dit, à peu près, le bon La Fontaine ; il nous est arrivé toutefois d'y faire encore autre chose, c'est d'écrire, car l'organisation du voyage était si parfaite qu'on nous a même distribué des cartes postales illustrées. Ajoutons qu'à chaque trajet une boîte mobile circulait pour prendre nos correspondances et les remettre au service postal, ce que le service de l'arrivée des courriers avait été réglé dans ses moindres détails.

» Dès 9h 28m, le train stoppait à Blisworth et un premier groupe se rendait à Stratford-sur-Avon pour visiter la maison de Shakespeare, celle de Anne Hathaway et d'autres monuments ; ce groupe était principalement composé de dames.

» A 9h 55m le train s'arrêtait à Rugby et un second groupe descendait pour visiter les usines de la *British Thomson Houston C^o* et de MM. *Willans et Robinson*.

» Enfin, le reste des voyageurs arrivait à 10h 42m à Birmingham par une pluie battante, qui avait pris presque au départ, et ne cessa pas de la journée. Trois groupes se formèrent alors, dont le premier visita les usines *Belliss et Morcom*, le second l'usine génératrice d'électricité et les ateliers de MM. *Elkington et C^o*, et le troisième l'usine de la *Metropolitan Carriage and Wagon C^o* et celle de la *Wolseley Tool and Motor Car C^o*.

» A 1 h 30m de l'après-midi, un excellent déjeuner, offert par l'*Institution of Electrical Engineers* et son comité local, nous réunissait tous au Grand Hôtel et nous donnait de nouvelles forces pour aller voir dans l'après-midi : les uns, les nouveaux bâtiments de

l'Université, d'autres, les usines de la *General Electric C°* à Witton, et enfin le dernier groupe, les usines de la *Birmingham Small Arms C°*, à Sparkbrook.

» A 5 h 30 m, le lord-maire de Birmingham nous faisait l'honneur de nous recevoir à l'Hôtel de Ville et nous offrait un goûter fort bien conditionné, pour nous remettre de la pluie que nous avions subie. Nous ne reviendrons plus sur l'excellence des déjeuners, goûters, diners qui nous ont été offerts, toujours parfaits et toujours accompagnés de la plus exquise bonne grâce.

» A 7 h 45 m nous reprenions notre *spécial* pour arriver à 9 h 45 m du soir à Manchester, après avoir diné dans le train.

» Le vendredi 29 juin débuta par l'agréable constatation que la pluie avait cessé. Aussi est-ce dans les meilleures dispositions d'esprit que nous nous rendimes à la réception que le lord-maire de Manchester et le maire de Salford nous faisaient l'honneur de nous offrir à l'Hôtel de Ville. Puis, tandis que les dames circulaient de leur côté sous l'égide d'un comité local féminin des plus aimables, nous nous rendions en trains spéciaux à l'usine génératrice d'électricité de *Stuart Street*.

» Après le déjeuner, offert à l'Hôtel de Ville par le lord-maire de Manchester, le maire de Salford et le Comité local de l'*Institution of Electrical Engineers*, nous allâmes visiter les usines de la *British Westinghouse Manufacturing C°* à Trafford Park, où nous pûmes circuler dans une grande voiture automotrice à traction monophasée et, naturellement, goûter.

» Puis nous avons visité en bateau spécial une partie du *Ship Canal*, œuvre grandiose qui fait de Manchester un port de mer, et avons terminé la soirée à l'Université où le vice-chancelier et le Conseil de l'Université nous faisaient l'honneur de nous recevoir.

» La journée du samedi 30 juin a été consacrée à la ville de Liverpool, où le lord-maire nous faisait l'honneur de nous attendre sur le quai de la gare. Des tramways spéciaux, décorés, nous conduisirent en musique à l'usine génératrice d'électricité de Lister Drive, puis à la gare Dingle de l'*Overhead Electric Railway*, où un train spécial, cotoyant les docks, nous faisait voir tout l'estuaire pour nous amener au déjeuner, offert par le Comité des Tramways et de l'Éclairage de la ville de Liverpool. Le soleil s'était mis de la

partie et nous a fait voir Liverpool sous un jour des plus favorables.

» Après le déjeuner, nous fûmes visiter l'usine génératrice de Formby du *Lancashire and Yorkshire Railway*, qui a électrifié et exploite, au moyen des courants continus et du troisième rail, des lignes d'une longueur intéressante. L'*Overhead* est d'ailleurs un des plus anciens chemins de fer électriques urbains qui existent.

» A 4 h le lord-maire nous recevait à l'Hôtel de Ville, après quoi nous rentrâmes à Manchester prendre un repos bien mérité.

» Le dimanche, 1^{er} juillet, jour de repos, fut consacré à nous rendre de Manchester à Glasgow par le district des lacs. Nous fîmes, de Windermere à Keswick, une trentaine de kilomètres en voiture, qui resteront un des plus délicieux souvenirs de ce voyage. Le temps était exquis, demi-couvert, sans soleil exagéré et la pluie a eu l'attention d'attendre, pour se mettre à tomber, que nous fusions dans le train. La région est charmante : des montagnes vertes, en général arrondies, mais parfois rocheuses, des lacs semés comme à plaisir, un air d'une pureté inconnue dans les villes ; nous ne pouvions rêver un meilleur emploi de notre dimanche.

» Le lundi matin, 2 juillet, nous constatâmes avec regret que la pluie de Glasgow ne le cédait en rien à celle de Liverpool. Elle fut cependant moins violente et moins tenace, et cessa dans la matinée. Après avoir visité les usines électriques de Port-Dundas et de Pinkston, et traversé en voiture les plus beaux quartiers de la ville, nous fûmes déjeuner aux *City Chambers* par invitation du lord-prévôt et du Conseil municipal de Glasgow.

» L'après-midi, nous dûmes nous diviser en sept groupes, qui visitèrent respectivement : Rouken Glen, la station de Yoker Power de la *Clyde Valley Electrical Power Co* et le *Clydebank Shipyard* de MM. John Brown et Co, le *Dalmuir Shipyard* de MM. W. Beardmore and Co ou les usines de la *Singer's Manufacturing Co*, les ateliers de Hyde Park de la *North British Locomotive Co*, la *Fairfield Shipbuilding and Engineering Co*, les principales rues de la ville.

» L'un de ces groupes put visiter le futur transatlantique *Lusitania*, actuellement sur cale, qui sera l'un des plus grands et plus puissants navires du monde entier. Il sera actionné par de très grosses turbines.

» La soirée se termina à l'Université, où recevait lord Kelvin, à

la fois chancelier de l'Université et président de la *Section locale* de Glasgow de l'*Institution of Electrical Engineers*.

» La journée du mardi 3 juillet fut entièrement consacrée à la visite des grands ateliers de construction de chaudières *Babcock et Wilcox* à Renfrow et à une délicieuse promenade dans l'estuaire de la Clyde sur le bateau à turbines *Queen Alexandra*, par invitation de MM. Babcock et Wilcox. Le temps était au beau, le bateau glissait sur l'eau calme sans un mouvement, sans aucune de ces trépidations si désagréables sur certains navires, et nous admirâmes longuement les ravissantes rives de la Clyde.

» Le soir, réception aux *Art Galleries* par le lord-prévôt et le Conseil municipal de Glasgow.

» Le mercredi 4 juillet, au matin, nous prenions notre train spécial pour Edimbourg, où nous arrivions à 10h. Le temps de voir l'usine génératrice d'électricité et de faire un intéressant tour en voiture dans l'antique capitale de l'Écosse, et nous déjeunions à l'hôtel de la *Gare North British* par invitation du lord-prévôt et du Conseil municipal.

» L'après-midi fut consacrée à une promenade en voiture, qui restera comme un des plus charmants souvenirs du voyage. Le temps était délicieux, l'air exquis, le paysage pittoresque, et de vieux récits de Walter Scott nous revenaient à la mémoire. Il fallut malheureusement s'arracher à ce charme et à 6h 5m nous reprenions notre *spécial* où nous dinâmes confortablement, comme d'habitude. Assez tard dans la soirée, nous arrivions à Newcastle-on-Tyne ; nous avons définitivement quitté l'Écosse pour l'Angleterre.

» Le jeudi 5 juillet, trois groupes furent formés, dont le premier visita les usines *Armstrong*, à Elswick ; le second l'usine *J.-H. Holmes and Co* et l'usine *C.-A. Parsons and Co*, et le troisième, surtout composé de dames, le vieux château et le musée.

» Les trois groupes se trouvèrent réunis pour le déjeuner au *Wallsend Drill Hall*, salle appartenant au 2^e volontaires des *Northumberland Fusiliers*. Nous visitâmes ensuite l'intéressante usine génératrice de Carville, puis les cales de lancement à Wallsend, et de grandes turbines *Parsons* en construction pour un transatlantique, probablement pour le *Mauritania*, frère du *Lusitania* vu à Glasgow, et que nous avons pu visiter dans la matinée.

» Puis, dans un bateau spécial, nous descendîmes la Tyne jusqu'à la mer, admirant l'énorme port que constitue cette rivière, et, après avoir goûté au *Bath Hôtel*, à Tynemouth, nous regagnions Newcastle en train électrique.

» Le vendredi matin, 6 juillet, nous prenions le train pour Leeds où une réception, suivie de déjeuner, nous était, presque aussitôt arrivés, offerte par le Comité d'Électricité et des Tramways à l'*Art Gallery*.

» Le déjeuner fut suivi de la traditionnelle visite des très intéressantes usines génératrices d'électricité pour la lumière et les tramways, tandis que les dames étaient conduites prendre le thé à Roundhay Park. Les messieurs étaient également invités à ce thé, mais la plupart n'eurent que le temps de s'habiller pour la réception qui nous était offerte à l'Université de Leeds par le Pro-Chancelier. Pendant cette réception, comme d'ailleurs dans les réceptions antérieures, les laboratoires et collections étaient ouverts et nous eûmes l'occasion d'assister à d'intéressantes expériences d'électricité et de physique.

» Le samedi 7 juillet, dernier jour du voyage, fut une délicieuse journée de repos technique. Notre *spécial* nous conduisit à Harrogate, célèbre ville d'eaux, d'où des voitures, nous faisant traverser une des plus jolies parties du Yorkshire, nous menèrent visiter l'antique cathédrale de Ripon et déjeuner dans le cloître, seule partie encore intacte de *Fountain's Abbey*. Le temps était idéal et les ruines très bien conservées de l'antique abbaye, dont les bâtiments vont suivant leur âge du roman le plus pur au gothique presque flamboyant, en traversant de curieux intermédiaires, et qui occupaient un espace considérable, placées dans un parc magnifique, reposaient agréablement notre esprit où les nombreuses et importantes usines visitées antérieurement dansaient quelque peu la sarabande.

» Il fallut cependant, bien à regret, quitter ce merveilleux paysage, et regagner Harrogate, où le Kursaal nous offrit un thé suivi de concert, après lequel nous remontâmes pour la dernière fois dans notre *spécial*.

» Le diner terminé, le spectacle y fut des plus gais, chacun faisant visite aux divers groupes, remerciant les uns, se félicitant avec

les autres du charmant voyage fait ensemble et formulant des vœux de prompt revoir.

» A 11 h 20m du soir, nous arrivions à la gare de King's Cross, à Londres, où eut lieu la séparation générale et définitive, les uns restant à Londres le lendemain, les autres partant dès le dimanche matin pour regagner le continent.

» Dans ce bref résumé de nos quinze jours de voyage, nous avons, malgré le puissant intérêt des importantes installations que nous avons visitées, systématiquement évité de donner aucun renseignement technique. C'est que, si nous étions entrés dans cette voie, le *Bulletin* tout entier n'aurait pas suffi à contenir tout ce qu'il y aurait à dire. Qu'il nous suffise d'indiquer que, grâce à une attention de l'*Institution of Electrical Engineers* qui a fait rééditer en de beaux volumes les renseignements antérieurement parus dans les principaux journaux techniques, nous rapportons tous *plusieurs volumes* de renseignements de tout ordre sur les principales usines des contrées que nous avons parcourues.

» Ce n'est là qu'un des nombreux points qui montrent jusqu'à quel admirable degré de soin avait été préparé ce voyage. Tout y avait été prévu dans les moindres détails ; partout des réceptions honorifiques et cependant des plus cordiales avaient été arrangées ; partout les logements dans les hôtels, où nous connaissions chacun, avant de quitter le train, notre numéro de chambre, et les moyens de communication les plus intéressants avaient été préparés. D'un bout à l'autre, les visites étaient combinées de façon à ne pas perdre un instant, et d'autre part des journées de délassement avaient été soigneusement intercalées, aux meilleurs moments pour nous éviter un excès de fatigue. Ajoutez à cela une cordialité toujours en éveil, des collègues toujours gais et en train, et vous comprendrez toute la vérité de cette boutade de notre ancien président, M. E. Hospitalier :

« Nous songeons à l'embarras dans lequel se trouvera la génération prochaine dans un quart de siècle, pour faire mieux ou même pour faire aussi bien. »

» Il est nécessaire d'exprimer ici particulièrement notre gratitude :

» A M. Gavey, président de l'*Institution of Electrical Engineers*,

dont les hautes fonctions au *Post-Office* ont puissamment aidé à la bonne marche du voyage, et dont l'inaltérable bonne humeur était véritablement merveilleuse, et à M^{me} Gavey, qui a bien voulu, avec une grâce toujours souriante, nous accompagner dans tout le voyage ;

» A M. le D^r Glazebrook, président désigné pour le prochain exercice, qui a excellemment secondé M. Gavey ;

» A M. R.-K. Gray, ancien président, qui, après avoir matériellement aidé à l'organisation du voyage, nous a tous conquis par son extrême amabilité et sa cordialité charmante ;

» A M. Lloyd, secrétaire de l'*Institution*, sur lequel reposait la plus grande partie du poids de l'organisation, et qui s'en est acquitté merveilleusement ;

» A M. Rowell, secrétaire-adjoint, qui avait pour nous l'avantage de parler parfaitement le français, et qui nous a non seulement prêté mille petits services avec une inaltérable obligeance, mais encore rendu le voyage particulièrement agréable par les intéressantes causeries que nous avons eues ensemble ;

» Et enfin aux Comités des *sections locales*.

» Car il faut le dire bien haut, c'est en grande partie aux *sections locales* qu'est dû le réel et complet succès de ce voyage, qu'il serait bien difficile d'organiser dans une *Société* aussi centralisée que la nôtre. Et il y a là pour nous un enseignement qui peut porter des fruits.

» Un autre enseignement à tirer d'un pareil voyage, c'est qu'il a été non seulement d'un haut intérêt au point de vue technique, mais confortable et agréable d'un bout à l'autre, et qu'il est regrettable, c'est le *seul regret* qui nous soit venu à l'esprit, que les Français y aient été en si petit nombre vis-à-vis des imposants groupes que formaient respectivement les Italiens et les Allemands.

» Il serait bien désirable, si une occasion pareille venait à se représenter, que les membres de la *Société internationale des Électriciens* y fussent en plus grand nombre.

» Du moins le groupe français, s'il était numériquement faible, est-il resté étroitement uni, et les relations des plus agréables qui se sont constamment maintenues entre ses membres ont contribué notablement à l'agrément de ce voyage, qui restera sans doute pendant longtemps encore un modèle du genre. »

**ÉTUDE SUR LE RAPPORT DES TROIS LAMPES CARCEL, HEFNER
ET VERNON-HARCOURT.**

PAR MM. LAPORTE ET JOUAUST.

« L'unification internationale des mesures, si complète pour les longueurs, les masses et les temps, si travaillée et si étudiée pour les unités électriques dans les Congrès et les Conférences, est relativement peu avancée pour les mesures lumineuses.

» Le Congrès de Genève en 1896, confirmant l'adoption de l'unité Violle, conseillait l'emploi de la lampe Hefner comme étalon secondaire pratique.

» Les lampes Carcel et Vernon-Harcourt continuent à être employées en même temps que l'Hefner et les réunions internationales des électriciens n'ont pris aucune décision nouvelle à ce sujet, bien que Bougie, Candle et Kerze, traductions du même mot, aient en réalité trois valeurs différentes, amenant forcément des confusions.

» Les Ingénieurs qui s'occupent de l'éclairage par le gaz se sont, au contraire, occupés de la question et le Congrès international de l'Industrie du gaz, réuni à Paris, en 1900, décidait de nommer une Commission internationale, à l'effet de fixer les règles à suivre dans les observations photométriques des becs à incandescence.

» La Commission internationale de Photométrie, dans sa réunion à Zurich, en 1903, entendit un rapport du Dr Bunte (!) sur les différents nombres trouvés comme valeur des divers étalons secondaires en fonction les uns des autres.

» Le rapporteur, après avoir résumé son travail en deux Tableaux reproduits partiellement ci-après, estima que des essais étaient encore nécessaires pour fixer ces rapports d'une façon définitive et la Commission recommanda que des essais comparatifs entre les

(1) Dr BUNTE, *Les unités photométriques techniques*.

Recueil des Travaux et Compte rendu des Séances de la Commission internationale de Photométrie. Première Session, Zurich, 1903, p. 45, publié par la Société technique de l'Industrie du gaz en France.

lampes Carcel, Hefner et Vernon-Harcourt, fussent exécutés dans les Laboratoires de Photométrie compétents, en Allemagne, en Angleterre et en France.

TABLEAU I. — *Résumé des valeurs relatives des unités photométriques.*

(Extrait concernant l'hefner, la carcel, l'unité Violle.)

		Hefner.	Carcel.	Violle.	Bougie décimale.
Hefner.	(1) ...	»	0,092	0,044	0,89
	(2) ...	»	0,096	»	»
	(3) ...	»	0,092	»	»
Carcel.	(2) ...	10,45	»	»	»
	(3) ...	10,91	»	»	»
	(4) ...	»	»	0,481	9,62
	(5) ...	10,8	»	»	»
Unité Violle.	(4) ...	22,6	2,08	»	20
Bougie décimale.		»	0,104	0,05	1

TABLEAU II. — *Valeurs les plus probables des unités les unes par rapport aux autres.*

(Partie concernant : hefner, carcel et vernon-harcourt.)

	Hefner.	Vernon-Harcourt.	Carcel.
Hefner.	1	0,088	0,092
Vernon-Harcourt (10 candles) ...	11,4	1	1,05
Carcel.	10,87	0,95	1

» M. Vautier, Président de la Commission internationale de Photométrie, demanda au Laboratoire central d'Électricité d'entreprendre un travail sur cette question. La même demande était faite au Laboratoire d'essais du Conservatoire des Arts et Métiers. Les résultats réunis de ces mesures doivent être présentés à la prochaine réunion de la Commission comme les valeurs obtenues en France.

» Ce rapport commun sera publié avec les travaux de la Commis-

(¹) KRUSS, *Deutsche Lichtmesskommission*, München, 1897.

(²) *Rapport der Niederlandischen Photometrie Kommissie*, 1893.

(³) F. LAPORTE, *Journal des usines à gaz*, 1898, p. 204.

(⁴) VIOLLE, *Des étalons photométriques* (*Compte rendu de la Société technique de l'Industrie du gaz*, 1884).

(⁵) DIBDIN, *Public Lighting by Gas and Electricity*. London, 1902.

sion (1), mais nous avons pensé qu'il était intéressant de résumer ici l'état actuel de la question des valeurs relatives des étalons lumineux usuels et de donner aussi quelques remarques faites pendant l'emploi de ces lampes.

» A la suite du Congrès de Genève, le Laboratoire central d'Électricité s'était occupé de comparer les lampes Carcel et Hefner. Il importait de fixer la valeur relative des deux étalons usuels puisque l'emploi de l'hefner était recommandé par le Congrès, tandis que la bougie décimale, dérivée de l'unité Violle, était pratiquement obtenue par des mesures faites avec la carcel.

» A cette époque le rapport admis était

$$\text{Hefner} = 0,106 \text{ carcel.}$$

» MM. Durand et Jigouzo avaient trouvé au Laboratoire central d'Électricité, en 1896,

$$\text{Hefner} = 0,09 \text{ carcel.}$$

» Dans un travail présenté en 1898 devant la Société des Électriciens (2), la valeur relative des deux lampes avait été fixée à

$$\text{Hefner} = 0,092 \text{ carcel.}$$

» Dans ces essais on avait comparé directement les deux étalons l'un avec l'autre et l'on avait aussi cherché le rapport de chacun d'entre eux avec deux lampes électriques bien connues.

» Les résultats avaient été :

Comparaison directe.....	Hefner = 0,093 carcel
Comparaison indirecte (lampe X, 3 bougies)...	— = 0,092 —
— — (lampe B, 17 bougies)...	— = 0,091 —

» Depuis ce travail on a étudié au Laboratoire une série de lampes à incandescence électriques qui servent d'étalons pour les essais. Ces lampes sont, bien entendu, systématiquement comparées et vérifiées.

(1) On trouvera plus loin, en Appendice (p. 390), les principaux résultats de ce rapport

(2) F. LAPORTE, *Étude sur les étalons lumineux usuels* (*Bulletin de la Société internationale des Électriciens*, 1^{re} série, t. XV, 1898, p. 166).

» Depuis 1898 plusieurs comparaisons directes ou indirectes entre les lampes Carcel et Hefner ont été faites au Laboratoire, nous signalerons rapidement celles qui nous paraissent avoir le plus d'intérêt.

» A plusieurs reprises et à quelques années d'intervalle le Laboratoire central d'Électricité demanda en Allemagne des lampes à incandescence électriques, étalonnées en hefners, à l'Institut impérial physico-technique. On a pris, bien entendu, toutes les précautions nécessaires pour assurer la bonne conservation de ces lampes.

» Sans entrer dans le détail des comparaisons avec les étalons du Laboratoire central d'Électricité, il résulte de ces essais que la valeur moyenne trouvée pour l'hefner, d'après l'indication de l'intensité lumineuse de ces lampes, est

$$\begin{aligned}\text{Hefner} &= 0,884 \text{ bougie décimale,} \\ - &= 0,092 \text{ carcel.}\end{aligned}$$

» Ces essais ont porté sur onze lampes à incandescence, étalonnées en Allemagne, d'intensité lumineuse variant de 5 à 32 hefners.

» Ces lampes sont, bien entendu, conservées au Laboratoire et continuent à servir en cas de besoin.

» En 1902, à l'occasion d'un concours de lampes à alcool, nous avons eu l'occasion de comparer, dans le Laboratoire de Photométrie de M. Violle, deux lampes Carcel et Hefner. Ces deux lampes qui n'avaient jamais été étudiées au Laboratoire central d'Électricité, avec des mèches et des produits différents de ceux du Laboratoire, ont donné, comme moyenne de deux séries d'expériences, faites à quelques jours d'intervalle,

$$\text{Hefner} = 0,0918 \text{ carcel.}$$

» M. Sharp ⁽¹⁾ apporta, en 1903, au Laboratoire central d'Électricité, des lampes à incandescence électriques qui avaient été étudiées par lui à New-York (Electrical Testing Laboratories); ces mêmes lampes ont été portées par lui à Londres et à Berlin.

» Les résultats des essais furent les suivants : la valeur moyenne

(¹) C. SHARP, *Testing Laboratory* (Congrès de Saint-Louis, t. I, 1904, p. 498).

des lampes essayées a été :

National Physical Laboratory of England, London.....	16,89 candles
Pender Laboratory. University College, London.....	17,11 —
Ediswan Lamp Works, London.....	17,6 —
Laboratoire central d'Électricité, Paris.....	16,2 bougies décimales
Physikalischtechnische Reichsanstalt, Berlin.....	18,12 hefners
Electrical Testing Laboratories, New-York.....	15,96 candles

» Il en résulte, comme valeur des différents étalons par rapport à la carcel (¹), sachant que

$$16,2 \text{ bougies décimales} = 1,685 \text{ carcel} :$$

National Physical Laboratory.....	10 candles = 0,998 carcel
Pender Laboratory.....	10 candles = 0,985 carcel
Ediswan Lamp Works.....	10 candles = 0,96 carcel
Physikalischtechnische Reichsanstalt..	Hefner = 0,093 carcel
Electrical Testing Laboratories.....	Candle = 0,1055 carcel

» Douze autres lampes à incandescence, étalonnées dans la suite à New-York (Electrical Testing Laboratories) et qui ont été envoyées au Laboratoire central d'Électricité, ont donné comme valeur moyenne

$$\text{Electrical Testing Laboratories... Candle} = 0,104 \text{ carcel.}$$

» En se reportant à la Communication de M. Sharp au Congrès de Saint-Louis, on voit que les étalons employés à New-York étaient des lampes à incandescence étalonnées, il y a 15 ans, en Allemagne, alors que la lampe Vernon-Harcourt actuelle de 10 candles n'existait pas encore.

» Les rapports les plus intéressants sont donc ceux qui concernent la candle telle qu'elle est définie en Angleterre et qui donnent

$$\begin{aligned} 10 \text{ candles} &= 0,998 \text{ carcel,} \\ \text{—} &= 0,985 \text{ carcel,} \end{aligned}$$

et celui des lampes Hefner et Carcel

$$\text{Hefner} = 0,093 \text{ carcel.}$$

(¹) On rappelle ici que la bougie décimale est la vingtième de l'unité Violle. Pour passer de la bougie décimale à la carcel, qui est restée l'étalon secondaire employé pratiquement en France, on emploie le rapport donné par M. Violle :

$$\text{Bougie décimale} = 0,104 \text{ carcel.}$$

» Pour résumer, en quelques mots, les travaux du Laboratoire, antérieurs aux comparaisons nouvelles, on peut dire que le rapport de l'hefner à la carcel avait toujours été trouvé compris entre

$$\text{Hefner} = 0,092 \quad \text{et} \quad 0,093 \text{ carcel.}$$

» Le Laboratoire ne possédant pas jusqu'alors de lampe Vernon-Harcourt, le rapport de cet étalon à la carcel ne résultait que des comparaisons indirectes obtenues avec les lampes de M. Sharp.

» Enfin, le rapport du vernon-harcourt à l'hefner n'avait jamais été déterminé par le Laboratoire.

» Les nouvelles mesures ont été entreprises pour comparer les trois étalons dans des conditions semblables et pour chercher à obtenir leur rapport de la façon la plus approchée possible.

» *Méthode employée.* — Une lampe à incandescence électrique, maintenue à un régime bien constant et dont la tension était réglée avec soin au moyen d'un potentiomètre, était comparée avec l'étalon à étudier. (Lampe dite de 5 bougies 110 volts employée à 105 volts).

» Les résultats des mesures faites dans des conditions atmosphériques différentes, permettent de se rendre compte de la constance que l'on peut attendre d'un étalon. Il est difficile, en effet, tout au moins avec des étalons à flamme, de pousser plus loin l'expérimentation et de faire varier artificiellement l'état hygrométrique, la température ou la composition de l'air. L'emploi d'une enceinte limitée pour la lampe paraît susceptible de fausser les résultats. Le mieux est donc de multiplier les expériences et d'attendre que les conditions atmosphériques changent d'elles-mêmes.

» Lorsque le rapport de la lampe à incandescence et de l'étalon a été ainsi déterminé dans des conditions atmosphériques bien connues et différentes, on peut calculer la valeur moyenne et fixer la valeur de l'étalon.

» La lampe électrique a été ainsi étudiée successivement et alternativement avec les trois étalons à flamme. La valeur du rapport moyen de la lampe avec chaque étalon permet de calculer, avec une précision satisfaisante, le rapport des étalons entre eux.

» Les expériences sont ainsi plus faciles à conduire que si l'on cherchait à comparer directement les étalons entre eux. On a aussi

l'avantage de rendre moins complexes les résultats obtenus et leur appréciation, les variations propres à chaque étalon se trouvant séparées.

» On a employé pour ces mesures un photomètre Lummer et Brodhun à *contraste* avec banc gradué de 3 m. Les expériences ont été faites dans deux salles de photométrie différentes.

» Pour chaque mesure il était fait dix lectures au photomètre. Après chaque série les observateurs alternaient : l'un faisant les mesures d'intensité lumineuse, l'autre surveillant ou réglant les lampes. On n'a constaté aucune différence systématique entre les résultats obtenus par les deux expérimentateurs.

» *Lampe Carcel.* — La lampe qui a servi à la plus grande partie des expériences avait déjà été employée pour les essais de 1898. La seconde lampe du Laboratoire a été également allumée et photométrée à plusieurs reprises.

» Ces deux lampes avaient été comparées autrefois aux carcelles du Bureau central des Essais de la Ville de Paris et à la carcel de la Compagnie parisienne du Gaz (usine du Landy). Ces lampes avaient été trouvées équivalentes.

» Au cours de nos mesures nous avons eu l'occasion d'étudier, au Laboratoire central d'Électricité, trois autres étalons Carcel, qui ont donné, comme on le verra plus loin, des résultats assez voisins.

» Toutes ces lampes sont, d'après le constructeur, conformes aux prescriptions de l'Instruction de Dumas et Regnault pour la vérification du pouvoir éclairant du gaz. La spécification est loin d'être complète, mais la lampe construite, paraît-il, suivant le même dessin, s'écarte peu des dimensions du modèle original.

» On sait que la lampe Carcel contient un mouvement d'horlogerie, remonté au moyen d'une clef, et qui fait mouvoir une petite pompe foulante, noyée dans le réservoir d'huile. Le liquide combustible est ainsi refoulé jusque dans le tube annulaire qui contient la mèche. L'huile qui n'a pas servi à la combustion retombe dans le réservoir.

» On a mesuré la fréquence des afflux d'huile à la mèche, il est

très facile de les compter, on a obtenu les résultats suivants :

	Nombre d'afflux par minute.
Carcel A (Lampe du Laboratoire central d'Électricité)...	20,7
— B — — — — ...	8,9
— C (Lampe essayée)	19,6
— D —	17,4
— E —	17,9

» Le fonctionnement anormal de la lampe B n'influe pas sur son intensité lumineuse. D'ailleurs, la quantité d'huile qui monte à la mèche est de 74 g par heure, poids encore nettement supérieur à la consommation normale (42 g).

» Les mèches qui ont été employées par le Laboratoire pèsent environ 2,1 g, soit par unité de longueur :

Poids par centimètre de longueur..... 0,343 g

» La mèche est formée de 75 brins parallèles à l'axe, tressés avec des fils d'un diamètre beaucoup plus faible et qui sont enroulés suivant la direction d'une hélice à pas très court. Ces fils étaient au nombre de 7 environ par centimètre de longueur et leur poids n'est que 6 pour 100 environ du poids total.

» L'une des lampes essayées était munie de mèches un peu différentes, pesant par centimètre de longueur 0,356 g. La lampe employée avec un genre de mèche puis avec l'autre ne présenta pas de différence sensible au point de vue photométrique.

» L'huile de colza épurée a été achetée chez deux fournisseurs. On n'a pas constaté d'écarts systématiques entre les résultats obtenus avec les différentes fournitures.

» La lampe était vidée avant chaque expérience, l'huile qui restait étant laissée dans le réservoir après l'essai. La mèche changée chaque fois était soigneusement coupée. La lampe, entièrement remplie d'huile fraîche, était remontée puis allumée avec les précautions habituelles.

» Avant de faire le réglage de la mèche et du verre, il est bon de laisser la lampe brûler pendant 15 minutes au moins avec une flamme très courte. On peut opérer de la façon suivante : la mèche ayant sa hauteur normale on baisse le verre suffisamment pour que le coude se trouve au-dessous du sommet de la mèche.

» La lampe était réglée, portée sur la balance; après quelques minutes l'expérience commençait.

» Dans les comparaisons de la carcel avec une lampe à incandescence électrique, les deux opérateurs avaient ordinairement le temps de faire leurs deux séries de 10 lectures pendant la durée de 10 minutes, qui correspond à une consommation de 7 g d'huile.

» Tous les résultats ont été corrigés de manière à ramener la consommation d'huile à sa valeur normale de 42 g par heure.

» On a admis pour faire cette correction que l'intensité lumineuse de la lampe Carcel était proportionnelle au poids d'huile brûlée.

» En comparant les expériences faites le même jour, sans intervalle de temps notable, soit en modifiant les conditions de réglage de la lampe, soit en l'éteignant et en la rallumant après avoir taillé de nouveau la mèche, on a constaté que cette loi simple de correction pouvait être appliquée.

» Dans certains cas la concordance des résultats obtenus est tout à fait satisfaisante :

Résultat corrigé.	Consommation horaire.
Lampe S' = 0,428 carcel	42 g
= 0,428 —	43,8 —
Lampe S' = 0,418 carcel	40,5 g
= 0,417 —	42 —

» Pour d'autres expériences la correction était insuffisante, d'une façon parfois assez notable, mais on n'a jamais constaté qu'elle fût trop forte :

Résultat corrigé.	Consommation horaire.
Lampe S' = 0,400 carcel	45,2 g
= 0,415 —	42,8 —
Lampe S' = 0,423 carcel	40 g
= 0,405 —	43 —

» Étant données les variations de la température ambiante (de 9 à 22 degrés) et les difficultés d'obtenir le même poids d'huile brûlée avec un réglage de la lampe à peu près identique, on a admis dans la moyenne les résultats des expériences faites avec une consomma-

tion de 5 pour 100 environ plus forte ou plus faible que la normale.

» Les résultats des expériences n'ont subi aucune correction relative à l'humidité ou à la pureté de l'air ou à sa température. On a relevé cependant les indications du thermomètre et de l'hygromètre, mais les résultats obtenus ne sont pas encore assez nombreux ni assez vérifiés et l'action de certains facteurs pas assez nettement élucidée pour qu'on puisse essayer de déduire une relation même approchée.

» A première vue, les écarts entre les différentes valeurs de l'intensité lumineuse et la moyenne des résultats obtenus paraissent irréguliers et semblent ne présenter aucune variation systématique. Cependant un examen plus attentif montre que l'intensité lumineuse de la carcel doit croître avec la température, le nombre de litres de vapeur d'eau par mètre cube d'air sec restant constant. De même, à température constante, l'intensité lumineuse diminue à mesure que l'humidité augmente.

» Mais, comme nous venons de le dire, un plus grand nombre d'expériences est nécessaire pour pouvoir mesurer, même approximativement, ces influences complexes.

» Il n'a pas été fait d'analyse de l'air. On a pris seulement la précaution de ne laisser fermée la salle de photométrie (200 m³ environ) que le temps nécessaire aux mesures. Elle ne restait jamais plus de 20 à 30 minutes sans être largement aérée.

» Il est à signaler qu'on doit éviter de faire des mesures photométriques quand la lampe charbonne. On est prévenu de ce mauvais fonctionnement parce que la hauteur du bord carbonisé de la mèche augmente et dépasse sa dimension normale. Dans cet état, même avec la consommation d'huile normale, l'intensité lumineuse de la carcel reste bien en dessous de sa valeur ordinaire. La mèche charbonne, en général, par suite d'un allumage mal réussi ou d'un fonctionnement trop prolongé.

» La moyenne de 21 séries de mesures faites avec les carcels A et B, qui appartiennent au Laboratoire, a donné comme valeur du rapport de la lampe à incandescence désignée par la lettre S'

Lampe S' = 0,421 carcel.

» Température moyenne : 16 degrés (extrêmes 9,5 à 20).

» Humidité moyenne : 10 litres de vapeur d'eau par mètre cube d'air sec (extrêmes 8,5 et 13,5).

» La moyenne des écarts avec la valeur moyenne, sans tenir compte des signes, est de 1,5 pour 100.

» Les écarts maxima ont été de 4 pour 100 en plus ou en moins.

» Les résultats obtenus sur les autres carrels sont résumés dans le Tableau suivant :

Carrels.....	C.	D.	E.
Rapport de la lampe S' à la carcel.....	0,411	0,422	0,417
Nombre d'expériences	10	8	10
Température moyenne (degrés centigrades).....	14,6	13	20
Humidité (nombre de litres de vapeur d'eau par mètre cube d'air)	12,1	11	13,4

» Il est d'ailleurs à remarquer que toutes les mesures dont on donne ci-dessus la moyenne, sauf deux sur la carcel C, sont comprises entre les limites extrêmes des mesures sur les lampes A et B. Il est donc probable que, si l'on avait prolongé chacun de ces essais plus longtemps et dans des conditions atmosphériques semblables, les résultats se seraient rapprochés davantage.

» *Lampe Hefner.* — La lampe Hefner du Laboratoire avait été achetée chez Hartmann et Braun et porte le poinçon de 1896, de l'Institut impérial physico-technique. Au cours de ce travail nous avons pu employer deux autres lampes portant les dates de 1899 et 1904 (¹). Les résultats fournis par ces trois lampes sont concordants aux erreurs d'expérience près.

» On a employé de l'acétate d'amyle, acheté en Allemagne, à deux fournisseurs différents; il avait été garanti comme convenant aux essais.

» Les corrections à apporter à la valeur de l'intensité lumineuse de la lampe ont été calculées d'après la formule qui résulte des

(¹) Indications portées par les lampes :

H et B 213	P.T.R. 283	1896
H et B 267	P.T.R. 553	1899
Kruss 1079	P.T.R. 1131	1904

travaux du Dr Liebenthal ⁽¹⁾. Pour l'étude de l'étalon Hefner les intensités lumineuses ont été ramenées à la valeur qui correspond à une teneur de 8,8 litres de vapeur d'eau par mètre cube d'air sec.

» Malgré de grandes précautions apportées dans le réglage de la hauteur de la flamme, les écarts entre les différentes séries de mesures sont assez notables. Nous attribuons ces variations à la grande mobilité de la partie supérieure de la flamme qui rend difficile une manipulation précise.

» Il a semblé, à différentes reprises, qu'il y avait des variations légères dans la forme de la flamme. Pendant les mesures un observateur s'assurait qu'au moment de la lecture photométrique la pointe de la flamme se projetait bien dans le voisinage du centre du verre dépoli. On a cru observer, en suivant les lectures, quelques variations d'intensité lumineuse de la lampe, sans variation de hauteur correspondante, et, inversement, que certaines légères modifications dans la hauteur ne produisaient pas d'effet sur l'intensité lumineuse.

» Il a été fait 14 séries de mesures entre la lampe S' et les trois lampes Hefner.

» La moyenne des résultats bruts donne :

$$\text{Lampe S}' = 4,54 \text{ hefners.}$$

» Avec une humidité moyenne de 9,3 litres de vapeur d'eau par mètre cube d'air sec.

» En corrigeant, comme nous l'avons dit plus haut, chaque résultat de manière à le ramener à l'humidité de 8,8 litres, on trouve

$$\text{Lampe S}' = 4,53 \text{ hefners.}$$

» *Lampe Vernon-Harcourt.* — Les essais ont été faits sur une lampe qui avait été achetée en 1905 chez Alex. Wright ⁽²⁾ et con-

⁽¹⁾ Voir l'*Industrie électrique*, 1896 et VAUTIER, *La Photométrie réglementaire du gaz d'éclairage* (Société technique de l'Industrie du gaz en France, 26^e Congrès, 1899, p. 45).

⁽²⁾ Indications portées par la lampe :

Alex. Wright, Westminster.
N° 564.

struite suivant les prescriptions données par *Metropolitan Gas referees* (1).

» Deux bidons de pentane ont été achetés en Angleterre, ils ont été vendus comme remplissant toutes les conditions imposées pour servir aux essais.

» On a suivi les prescriptions indiquées pour l'emploi de cet étalon. Le réservoir était rempli à moitié environ de sa hauteur, et la flamme était réglée de manière à faire apparaître le sommet dans la partie inférieure de la fenêtre à peu près à mi-hauteur entre le bas de l'ouverture et la traverse. On a constaté, d'ailleurs, que ce réglage correspondait à l'intensité lumineuse maxima donnée par la lampe.

» Les lectures photométriques ont été faites après un certain temps d'allumage, au moment où le régime de la lampe était devenu à peu près fixe.

» Les intensités lumineuses ont été corrigées pour tenir compte de l'humidité de l'air. On a employé la formule qui résulte des travaux de Paterson (2) au Laboratoire national de Physique d'Angleterre. On a choisi comme intensité lumineuse normale celle qui correspond à une teneur de 10 litres de vapeur d'eau par mètre cube d'air sec. Si E est la teneur en litres d'eau, au moment de l'expérience, la valeur de l'étalon Vernon-Harcourt sera d'après la formule

$$\text{Vernon-Harcourt} = 10 \text{ candles} + 0,066(10 - E) - 0,008(760 - B),$$

B étant la pression barométrique.

» Dans le but de ménager l'approvisionnement du pentane, au début des essais on a laissé plusieurs fois dans le réservoir de la lampe le résidu du liquide qui avait servi pour l'essai de la veille en se bornant seulement à compléter le niveau.

» Le résultat obtenu conduit à donner à la lampe au pentane une intensité lumineuse un peu plus faible que celle qu'on lui attribue jusqu'ici. La température assez élevée pendant les essais et la

(1) Voir VAUTIER, *La Photométrie réglementaire du gaz d'éclairage* (Société technique de l'Industrie du gaz en France, 26^e Congrès, 1899, p. 45).

(2) *Some Investigations on the Ten Candles Harcourt Pentane Lamp* by C. C. PATERSON (*The Electrician*, 6 août 1904).

grande facilité avec laquelle le pentane distille, au moins partiellement, font craindre une modification du liquide combustible, il n'a pas été possible de vérifier le fait.

» La moyenne des résultats de 12 séries de mesures a donné

Lampe $S' = 0,421$ vernon-harcourt.

» La teneur moyenne en vapeur d'eau était de 10 litres par mètre cube d'air, ce qui correspond à l'intensité normale de cet étalon.

» Six autres séries d'expériences avec un second approvisionnement de pentane ont donné, à la température moyenne de 20,5 degrés centigrades,

Lampe $S' = 0,429$ vernon-harcourt.

» Les résultats étant corrigés pour ramener à l'humidité normale de 10 litres. Ces expériences faites après les autres ont été laissées de côté par suite de la température jugée trop élevée.

» *Résultats obtenus pour les rapports des trois étalons.* — En calculant les rapports des intensités lumineuses des trois étalons, d'après les valeurs trouvées pour la lampe à incandescence électrique

Lampe $S' = 0,421$ carcel	16 degrés, 10 litres de vapeur
= 4,53 hefners	8,8 — —
= 0,421 vernon-harcourt	10 — —

on obtient les résultats suivants :

	Carcel.	Hefner.	Vernon-Harcourt.
Carcel.....	1	10,76	1
Hefner.....	0,0929	1	0,0929
Vernon-Harcourt.....	1	10,76	1

» *Comparaison directe des étalons entre eux.* — Les trois lampes ont été comparées directement deux à deux. Dans ces expériences le réglage simultané des étalons à flamme est délicat et les écarts entre les résultats des expériences difficiles à réduire.

» Les comparaisons ont été faites alternativement et autant que possible dans les mêmes conditions atmosphériques.

» Il n'a pas été fait de correction pour l'humidité de l'air, c'est admettre que les trois étalons ont un même facteur de correction.

» Chacun des rapports suivants est la moyenne de six séries de mesures. Le nombre d'expériences est trop restreint pour que le résultat présente le degré d'approximation du Tableau précédent :

Hefner.....	0,0915 carcel	9,1 litres de vapeur
Vernon-Harcourt.	0,997 carcel	10,1 — —
Hefner.....	0,095 vernon-harcourt	11,9 — —

» On voit que cette vérification sommaire concorde à moins de 2 pour 100 avec les valeurs trouvées.

» La prochaine réunion de la Commission internationale de Photométrie pourra, en comparant l'ensemble des travaux exécutés en Allemagne, en Angleterre et en France, fixer le rapport des trois étalons lumineux usuels avec de bonnes garanties d'exactitude; mais il faut remarquer que cette précision ne peut être obtenue qu'en faisant concourir au même résultat un grand nombre de mesures, les trois lampes présentant toutes les irrégularités fortuites dans leur fonctionnement et des inconvénients dans leur emploi. On ne peut donc que regretter une fois de plus d'être obligé d'employer pratiquement des étalons à flamme et de ne pouvoir utiliser un étalon absolu comme l'étalon Violle. »

APPENDICE.

COMPARAISON DIRECTE DES ÉTALONS LUMINEUX.

« Comme nous l'avons dit plus haut, la comparaison des étalons lumineux en usage dans les divers pays a été entreprise simultanément au Laboratoire central d'Électricité et au Laboratoire d'essais du Conservatoire des Arts et Métiers.

» Ces recherches ont été conduites de façon différente dans les deux établissements.

» Tandis qu'au Laboratoire central on s'attachait surtout à la méthode indirecte (comparaison des étalons avec une lampe à incandescence auxiliaire), au Laboratoire d'essais on employait exclusivement la méthode directe.

» Les résultats des mesures ainsi entreprises ayant semblé présenter quelques divergences, les observateurs des deux établissements se réunirent et entreprirent des recherches en commun pour essayer d'arriver à faire cesser ces divergences.

» Comme complément au travail du Laboratoire central d'Électricité, nous donnons ici un court aperçu du mode opératoire employé et des résultats obtenus dans les recherches du Laboratoire d'essais et dans le travail commun aux deux établissements.

Extraits du Rapport présenté à la Commission internationale de Photométrie;

PAR M. PÉROT ET M. P. JANET.

I. — RECHERCHES DU LABORATOIRE D'ESSAIS DU CONSERVATOIRE DES ARTS ET MÉTIERS.

» Ces recherches ont été effectuées par M. Pérot, directeur du Laboratoire d'essai, et M. Langlet, Assistant. Le mode opératoire était le suivant :

» Trois bancs photométriques étaient placés de façon à former un triangle aux sommets duquel étaient placés les trois étalons à flamme (Carcel, Vernon-Harcourt et Hefner).

» Pendant qu'un des observateurs surveillait et réglait les étalons, l'autre mesurait successivement, au moyen d'un photomètre à plages concentriques de Lummer et Brodhun, les rapports des intensités lumineuses des étalons pris deux à deux. Chacune de ces déterminations faisait l'objet de huit lectures sur le banc photométrique. Il fut fait ainsi six séries de mesures, dans chaque série, les deux observateurs ayant effectué successivement les trois déterminations.

» Avant chaque série on avait soin de renouveler l'huile et de changer la mèche de la Carcel. L'étalon Hefner ayant servi à ces mesures provenait du Laboratoire de M. Violle et l'étalon Vernon-Harcourt avait été prêté par M. Vautier. Le pentane employé provenait de la maison Simmance et Abaddy.

» En faisant la moyenne de tous les résultats obtenus dans ces six séries de mesures on obtient pour les rapports cherchés les valeurs suivantes :

$\frac{\text{Vernon-Harcourt}}{\text{Carcel}}$	$\frac{\text{Hefner}}{\text{Carcel}}$	$\frac{\text{Hefner}}{\text{Vernon-Harcourt}}$
1	0,0937	0,0909

» La teneur moyenne de vapeur d'eau dans l'atmosphère était de 17,9 litres par mètre cube d'air sec.

» M. Pérot fait observer, dans son rapport à la Commission internationale de Photométrie, qu'étant donnée la manière dont ces résultats ont été obtenus on devrait avoir entre eux la relation

$$\frac{\text{Carcel}}{\text{Vernon-Harcourt}} \times \frac{\text{Hefner}}{\text{Carcel}} = \frac{\text{Hefner}}{\text{Vernon-Harcourt}}.$$

» Or, si l'on effectue le calcul, on constate une différence de 3 pour 100 entre les deux membres de l'égalité, mais un examen attentif des différents résultats obtenus montre qu'on peut attribuer cette faible différence à des erreurs expérimentales. Il n'est pas nécessaire pour l'expliquer d'avoir recours à quelque effet physiologique ⁽¹⁾ donnant à la mesure photométrique des résultats variables suivant l'éclairement produit sur l'écran du photomètre. Les nombres mentionnés plus haut sont des nombres bruts : on n'a apporté aucune correction relative à la teneur en vapeur d'eau de l'atmosphère. Si l'on compare ces nombres correspondant à des teneurs de 17 litres de vapeur d'eau par mètre cube d'air sec à ceux obtenus pour des teneurs voisines de 10 litres, on constate que les rapports

$$\frac{\text{Hefner}}{\text{Carcel}}, \quad \frac{\text{Carcel}}{\text{Vernon-Harcourt}}$$

sont très voisins et qu'on peut en conclure que le coefficient de variation de l'intensité lumineuse de la Carcel en fonction de l'humidité de l'atmosphère est très voisin de celui des deux autres étalons.

» En particulier, on n'a donc pas à apporter de correction du chef de l'état hygrométrique quand on cherche à déterminer par comparaison directe le rapport des intensités lumineuses des étalons.

II. — RECHERCHES COMMUNES AU LABORATOIRE D'ESSAIS ET AU LABORATOIRE CENTRAL.

» Ces recherches ont été faites dans la salle de photométrie du Laboratoire d'essais.

» Le mode opératoire employé était celui qui a été mentionné plus haut, mais chacun des bancs photométriques avait été muni d'un photomètre, de telle sorte que les comparaisons Vernon-Harcourt : Hefner et Carcel : Hefner ont été faites au moyen du photomètre à contraste de Lummer et Brodhun, le photomètre à plages concentriques servant uniquement à la comparaison des lampes Carcel et Vernon-Harcourt dont les colorations sont peu différentes.

» Le nombre des opérateurs qui se trouvait porté à quatre (MM. Pérot et Langlet pour le Laboratoire d'essais, Laporte et Jouaust pour le Laboratoire central d'Électricité) permettait une surveillance plus attentive du fonctionnement des étalons. Il a été fait ainsi trois séries de mesures. Dans chacune de ces séries toutes les déterminations

(1) Phénomène de Purkinje.

furent exécutées par chacun des observateurs. Les moyennes des nombres obtenus conduisent aux résultats suivants :

$\frac{\text{Vernon-Harcourt}}{\text{Carcel}}$	$\frac{\text{Hefner}}{\text{Carcel}}$	$\frac{\text{Hefner}}{\text{Vernon-Harcourt}}$
1,03	0,0925	0,0922

qui correspondent à une teneur en vapeur d'eau de 15 litres par mètre cube d'air sec.

» Si l'on fait la moyenne des deux séries de résultats obtenus par comparaison directe que nous venons de mentionner et des résultats obtenus par la même méthode au Laboratoire central d'Électricité (voir p. 388), on arrive aux rapports ci-dessous :

$\frac{\text{Vernon-Harcourt}}{\text{Carcel}}$	$\frac{\text{Hefner}}{\text{Carcel}}$	$\frac{\text{Hefner}}{\text{Vernon-Harcourt}}$
1,009	0,0926	0,0927

» En admettant que les trois étalons aient même coefficient de variation avec la teneur en vapeur d'eau, 0,006 par litre de vapeur par mètre cube d'air sec, on peut calculer ce que deviennent les rapports précédents pour les conditions de fonctionnement normal des étalons, c'est-à-dire

Carcel.....	teneur 10	litres de vapeur par mètre cube		
Vernon-Harcourt...	— 10	—	—	—
Hefner.....	— 8,8	—	—	—

$\frac{\text{Vernon-Harcourt}}{\text{Carcel}}$	$\frac{\text{Hefner}}{\text{Carcel}}$	$\frac{\text{Hefner}}{\text{Vernon-Harcourt}}$
1,009	0,0932	0,0933

qui sont très voisins des valeurs obtenues au Laboratoire central d'Électricité par comparaisons indirectes :

$\frac{\text{Vernon-Harcourt}}{\text{Carcel}}$	$\frac{\text{Hefner}}{\text{Carcel}}$	$\frac{\text{Hefner}}{\text{Vernon-Harcourt}}$
1,000	0,0929	0,0929

» Ce sont ces deux séries de nombres qui sont proposées à la Commission internationale de Photométrie dans le Rapport présenté, au nom des Laboratoires français, par MM. Pérot et P. Janet ⁽¹⁾.

(¹) Des recherches du même genre ont été entreprises en Allemagne au Physikalisch-Technische Reichsanstalt et en Angleterre au National Physical Laboratory, les résultats de ces recherches ont été les suivants (*Zeitschrift für Instrumentenkunde*, juin 1906, p. 186) :

	$\frac{\text{VH}}{\text{C}}$	$\frac{\text{H}}{\text{C}}$	$\frac{\text{H}}{\text{VH}}$
P. T. R. (Obs. Liebenthal).....	1,01	0,0926	0,0918
N. P. L. (Obs. Clifford C. Paterson)...	1,017	0,0929	0,0914

Dans les recherches du Reichsanstalt, la valeur de la carcel se rapporte à une teneur de 8,8 litres de vapeur d'eau par mètre cube d'air sec.

ÉCOLE SUPÉRIEURE D'ÉLECTRICITÉ.

PROMOTION XII. — 1905-1906.

Liste des Élèves ayant obtenu le diplôme d'Ingénieur-Électricien.

MM. le capitaine VIRY,
— DE ZIEMKIEWICZ, } Officiers désignés par M. le Ministre de la Guerre.
M. le lieutenant ROUSSEL,

MM.	MM.	MM.
1. DE PISTOYE.	22. SCHOMBOURGER	43. STUGOCKI.
2. REGNAULT.	23. GAJAN.	44. CATHIARD.
3. CANY.	24. ENGELHARD.	45. BÉRENGER.
4. PÉSEZ.	25. PANTHIER.	46. DÉCHANDOL.
5. BION.	26. ROCHE.	47. LEGOUPIL.
6. ROLLAND.	27. JÉGOU.	48. PUPPATI.
7. NICOLAS.	28. NEUFELD.	49. JACOBSFELD.
8. BAUDIS.	29. JOSSE.	50. BORLOZ.
9. CAUCHARAUD.	30. GUINANT.	51. MEUNIER.
10. FERRON.	31. GILLEQUIN.	52. JACOBSEN.
11. CARANTHÈNE.	32. HÉLITAS.	53. MATHIEU.
12. GILLOT.	33. COMTE.	54. TOUCHARD.
13. DERVILLÉ.	34. MÉVEL.	55. LASSERRE.
14. KOSTKO.	35. FABRE.	56. BARRAUD.
15. CHABOT.	36. BLOCH.	57. GATIN.
16. MANESCAU.	37. DURAND.	58. GOMIEN.
17. JOUFFRET.	38. LAUTHIER.	59. VINCENT (G.).
18. VELLUTINI.	39. POLACK.	60. CHAPELLE.
19. PERTUISOT.	40. FROHLICH.	61. BERGER.
20. MARCANDIER.	41. MIRAMONT.	62. JEAN-JOSEPH.
21. VAUTIER.	42. ROSSIGNOL.	

PROMOTION X. — 1903-1904.

MM. LETROU.
VARLANESCO.

PROMOTION XI. — 1904-1905.

MM. KIENAST.
SUREAU.

INFORMATIONS.

La Société des Agriculteurs de France annonce qu'un prix agromique, consistant en un objet d'art, sera décerné, durant la prochaine session de la Société, en 1907, à l'auteur de l'étude la mieux conçue, qui lui sera présentée sur la question de la production, du transport et de la distribution de l'énergie et de la lumière dans les exploitations rurales au moyen de l'électricité.

Ce travail devra viser la création ou l'utilisation d'une usine centrale, mue par une chute d'eau ou un autre moteur quelconque, annexe ou non d'une sucrerie, distillerie ou autre usine déjà existante ; cette usine produisant, au besoin, l'électricité nécessaire pour transmettre la force et la lumière dans les exploitations rurales avoisinantes.

Cette étude devra être appuyée sur des exemples tirés d'installations déjà existantes et, autant que possible, elle devra viser une application bien déterminée à créer. Dans ce cas, elle en présentera, dans la mesure du possible, les avantages et les difficultés, elle indiquera les prix d'installation et d'exploitation en les mettant en comparaison avec les dépenses des installations antérieures qu'elle serait destinée à remplacer.

Les mémoires devront être adressés au siège de la Société, 8, rue d'Athènes, à Paris, *au plus tard le 31 décembre 1906.*

Conditions des Concours de la Société.

1° Les mémoires présentés aux concours doivent être manuscrits ou à l'état d'épreuves.

2° Les auteurs ne doivent pas se faire connaître. Chaque manuscrit doit porter une épigraphe ou devise qui sera répétée sur un pli cacheté joint à l'ouvrage et portant le nom de l'auteur.

3° Le lauréat qui obtient un objet d'art peut choisir entre cet objet et sa valeur en argent.

La Société internationale des Électriciens dispose de quelques exemplaires d'un tirage à part du Rapport présenté par M. Boucherot au Congrès de Mécanique de Liège (juin 1905) sur la *Marche en parallèle des alternateurs*.

Ces exemplaires seront distribués au fur et à mesure des demandes aux membres de la Société qui le désireront. Les personnes qui ne recevront rien à la suite de leur demande devront conclure que celle-ci est arrivée après épuisement du stock disponible.

Un *Congrès de la documentation photographique* se tiendra à Marseille au mois d'octobre 1906. Les personnes désireuses d'obtenir des informations complètes sur la date et le programme de ce Congrès peuvent s'adresser, 51, rue de Clichy, à Paris (Hôtel de la Société française de Photographie).

REMISES EN LIBRAIRIE.

Par suite d'une entente avec un certain nombre d'éditeurs, la Société a obtenu que des réductions soient consenties à ses membres sur le prix des ouvrages de librairie. Nous donnons, ci-dessous, une première liste des éditeurs avec lesquels nous nous sommes entendus et l'indication des remises accordées.

Baillière et fils , 19, rue Hautefeuille, Paris...	Remise de	10 %
Béranger ⁽¹⁾ , 15, rue des Saints-Pères, Paris.	—	20 %
Bernard , 1, rue de Médicis, Paris	—	20 %
Bernard Tignol , 53 <i>bis</i> , quai des Grands-Augustins, Paris.....	—	10 % jusqu'à 25 fr, 15 % au-dessus
Desforges , 39, quai des Grands-Augustins, Paris.....	—	10 %
Dunod et Pinat , 49, quai des Grands-Augustins, Paris.....	—	10 %
Gratier et Rey , à Grenoble.....	—	10 %
Librairie centrale des Sciences , 25, quai des Grands-Augustins, Paris.....	—	10 %
Librairie Larousse , 17, rue du Montparnasse, Paris.....	—	10 %
Lahure , 9, rue de Fleurus, Paris.	—	20 %
— — Périodiques.	—	1 fr. sur abonnement.
Plon et Nourrit , 8, rue Garancière, Paris.	—	10 %
Theuveny , 80, rue Tailbout, Paris.....	—	10 %

(¹) Adresser les commandes au Secrétariat de la Société, 14, rue de Staël, Paris, 15^e.



BIBLIOGRAPHIE.

L'électrométallurgie des fontes, fers et aciers, par Camille MATIGNON.

L'auteur nous informe dans sa préface que, frappé des résultats industriels obtenus par certains électrométallurgistes à l'Exposition de Liège, il a rédigé son Ouvrage à la suite d'une visite à celle-ci.

Il se borne à la description des procédés métallurgiques nouveaux, enfantés par l'apparition du four électrique, et à leur application à la production des fontes spéciales: ferrochrome, ferrosilicium, silicospiegel, ferrovanadium, ainsi que des aciers et fontes électriques courantes.

Les procédés Héroult, Keller, Stassano, Kjellin, Girod, Gin, exposés de façon très détaillée, montrent l'état de la question au point de vue de la marche industrielle pour les aciers et fontes; quelques indications sommaires sont données sur le traitement du cuivre et du nickel.

Règles normales de l'Association des Electriciens allemands (Verband deutschen Elektrotechniker), pour la comparaison et l'essai des machines et transformateurs électriques, suivies des commentaires de G. DETTMAR, traduit de l'allemand par F. LOPPE et A. THOUVENOT.

L'Association des Electriciens allemands (V. d. E.) poursuit depuis plusieurs années l'établissement de règles normales pour la construction et les essais des machines et transformateurs électriques. En cela son œuvre est louable et les bases ainsi tracées servent utilement de guide pour la clientèle, tout en limitant la fantaisie à laquelle pourraient être tentés de se livrer certains constructeurs. La liberté des moyens d'exécution de ceux-ci restant entière, l'uniformisation du matériel n'est pas sans offrir un intérêt commercial certain pour le producteur et pour le consommateur. Enfin les *règles normales*, en prévoyant les méthodes d'essai applicables et en les définissant, éloignent les motifs de contestation: « Il n'est tel que de bien s'entendre »; cette définition n'est pas encore très goûtée en France, mais il n'est pas dit qu'elle n'y acquerra un jour force de loi.

Les commentaires de l'ingénieur distingué qu'est M. G. Dettmar ne constituent pas la partie la moins importante de cet opuscule de 70 pages; les traducteurs ont droit à nos remerciements pour avoir tenté de faire pénétrer chez nous les idées d'uniformisation ou tout au moins les conditions fondamentales qui ont été mûrement étudiées par la V. d. E.

Conférences d'Electricité industrielle, par M. A. BÉGHIN, deuxième et troisième année. Mesures électriques; dynamos et moteurs à courant continu.

L'apparition de la « première année » de ces conférences a été signalée en 1904 dans ce *Bulletin* (février 1904, p. 169).

M. Béghin en poursuit maintenant la publication et nous donne, cette fois, un Volume plus important encore comprenant les méthodes et appareils de mesure et l'étude des machines à courant continu.

La première partie est précédée d'un exposé relatif à la question des grandeurs complexes; traité clairement et simplement, il prépare bien l'introduction de la question des mesures. En particulier les mesures concernant les propriétés magnétiques des fers et aciers sont très heureusement développées au point de vue moderne.

L'auteur aborde l'étude des générateurs mécaniques d'électricité par la machine d'induction électrostatique, puis s'occupe des machines *électrodynamiques* tant magnéto-électriques que dynamo-électriques.

Les considérations théoriques, tout en conservant ici l'importance qui leur est due, ne font pas négliger à M. Béghin l'étude de la construction comme il sied de la rencontrer dans des conférences industrielles; nous appellerons notamment l'attention sur le résumé heureux concernant les enroulements fermés à courant continu et sur les méthodes industrielles de détermination du rendement.

Le Volume se termine par une série de conseils concernant l'installation, l'entretien et la recherche des défauts dans les dynamos, ainsi que par la description de quelques types classiques de machines.

En résumé, Ouvrage très pratique et d'une lecture aussi facile qu'instructive.

Die Theorie, Berechnung und Konstruktion der Dampfturbinen, par Gabriel ZAHIKJANZ. (Théorie, calcul et construction des turbines à vapeur.)

Ce Volume a été composé par l'auteur d'après la série d'articles qu'il avait publiés en 1904-1905 dans le journal *La Turbine (die Turbine)*; les principaux chapitres ont été étendus en raison des exigences spéciales de la forme « livre ».

M. Zahikjanz fait remonter l'origine de sa théorie des turbines aux développements qu'il en avait donnés, il y a vingt et un ans, dans une *analyse cinétique des turbines en action*.

Il s'est efforcé ici de rendre homogène et systématiquement simple la théorie appliquée au calcul des turbines à vapeur en vue des besoins de la construction.

L'Ouvrage se termine par une série de problèmes-types des plus instructifs.

Ainsi ce Volume s'adresse autant aux étudiants qu'aux praticiens à qui il pourra servir d'aide-mémoire pour faciliter l'étude des projets de construction.

Manuel pratique du télégraphiste et du téléphoniste, par H. DE GRAFFIGNY,
1 vol. in-8°, Paris, H. Desforges; 1906.

La méthode d'exposition adoptée par M. de Graffigny pour vulgariser la question scientifique n'est pas sans quelque rapport avec celle que Louis Figuier mettait en œuvre dans le même but; mais le moderne vulgarisateur dispose d'un style plus chaud, plus attrayant, tout en conservant la précision indispensable à la nette intelligence de la description technique.

C'est pourquoi le *Manuel pratique du télégraphiste et du téléphoniste* de M. de Graffigny s'adresse à quantité de lecteurs plus réellement intéressés; moins sans doute parmi les professionnels des administrations d'Etat, pour lesquels cependant il consti-

tuera un édifiant résumé, que parmi les personnes en si grand nombre aujourd'hui qui, de même que telle catégorie d'agents dans les Compagnies de chemins de fer, ont besoin de bien connaître quelques-uns, au moins, des différents appareils et procédés d'intercommunication actuellement en usage : télégraphie optique, terrestre, sous-marine, hertzienne, téléphonie, etc. Ils y trouveront également des renseignements pratiques et complets, dans leur brièveté, sur la pose et l'entretien des lignes, l'apprentissage de la manœuvre des appareils transmetteurs et récepteurs, ainsi que les meilleurs procédés pour la manipulation et l'emploi des instruments.

Les accumulateurs et les piles électriques, par J.-A. MONTPELLIER, 1 vol. in-18.
Paris, J.-B. Baillière et fils; 1906.

Pour apprécier comme il convient la raison d'être de cette publication, il n'est pas inutile de faire observer que la remarquable *Encyclopédie industrielle* de la maison Baillière se devait de traiter la question des *accumulateurs* dans un Volume de cette belle collection.

Laissant de côté ce qui a trait à la construction proprement dite, M. Montpellier a fait sur ce sujet une étude documentée en s'attachant surtout à fournir des indications pratiques en vue de l'utilisation des accumulateurs avec le moins de dépenses possible d'entretien et de réparation, ainsi que sur le choix des types appropriés aux différents cas d'application.

L'Ouvrage comporte les Chapitres suivants :

Principe des accumulateurs au plomb, types usuels. Montage et installation des batteries stationnaires et amovibles. Appareils auxiliaires. Installations des circuits et tableaux de distribution. Application des accumulateurs. Charge et décharge. Entretien et réparation. Calculs pratiques.

L'auteur a pensé qu'il convenait de terminer ce Volume par la description des principaux types de piles électriques. L'utilité n'en ressort pas manifestement, la connaissance du courant secondaire supposant celle du primaire dont il traite seulement *in fine* sans que, du reste, le sujet principal en soit affecté.

Les clapets électrolytiques, par A. NODON, 1 vol. 24 × 15,5, 68 pages.
Paris, V^e Ch. Dunod.

Dans cette étude présentée comme thèse à la Faculté des Sciences de Toulouse, M. Nodon analyse les divers phénomènes qui se produisent dans le fonctionnement des soupapes électrolytiques, phénomènes extrêmement complexes et dont une théorie entièrement satisfaisante n'a pas encore été établie. Les expériences qu'il décrit éclairent de façon assez nette le rôle de l'anode et les transformations chimiques qui y donnent lieu à l'effet clapet. D'autre part, les courbes ondographiques très réussies que l'auteur a pu relever, malgré les difficultés que présentait l'expérience, montrent jusqu'à quel point son étude a été consciencieusement menée au point de vue scientifique.

M. Nodon ne s'est pas contenté d'ailleurs de l'étude purement scientifique des soupapes. Une préoccupation industrielle a guidé ses recherches et les chiffres qu'il donne, les résultats qu'il signale ont un intérêt pratique évident. Sa thèse est en

somme l'histoire des essais très complets et très méthodiques qui ont conduit à la mise au point de la soupape Nodon comme appareil industriel et l'examen complet de toutes ses applications ne constitue pas la partie la moins intéressante de cet excellent travail, dont le grand mérite est d'avoir porté des fruits.

Les moteurs électriques à courant continu, par H. LEBLOND, 3^e édition, t. I,
1 vol. 22,5 × 14,5, 350 pages. Paris, Berger-Levrault, éditeur, 1905.

L'Ouvrage de M. Leblond, Cours professé à l'École des officiers torpilleurs, se trouve désormais scindé en deux Volumes, dont le premier, récemment paru, est consacré à l'étude générale du fonctionnement des électromoteurs à courant continu et à leur manœuvre. Particulièrement renseigné sur les installations électriques à bord des navires, l'auteur n'a pas craint d'entrer dans le détail des cas particuliers, et ils sont légion, qui se présentent lorsqu'on peut avoir à installer, à essayer et à manœuvrer des électromoteurs soumis aux conditions d'encombrement et de changement de marche qu'exigent les constructions navales.

C'est dire que son Ouvrage, extrêmement complet, sera d'un précieux concours pour les professionnels du moteur à courant continu. Le lecteur en quête de renseignements y trouvera des exemples abondants, des chiffres nombreux tirés d'essais consciencieusement menés, et des courbes fort intéressantes. D'autre part, les phénomènes électriques présentés par les moteurs à courant continu y sont longuement analysés, de façon à être mis à la portée de praticiens peu habitués aux formules et aux théories de l'Électricité.

L'Ouvrage est divisé en six Chapitres : les deux premiers, relatifs aux généralités sur les moteurs, le troisième, consacré à leur étude algébrique et mécanique, le quatrième, à leur étude graphique. Le cinquième mérite une mention toute spéciale, il a été considérablement augmenté dans la nouvelle édition et constitue à lui seul un manuel technique de l'emploi des électromoteurs. Le sixième Chapitre est consacré à la transmission et à la distribution de l'énergie électrique.

L'énergie hydraulique et les récepteurs hydrauliques, par U. MASONI,
1 vol. 25,5 × 16,5, 320 pages. Paris, Gauthier-Villars, éditeur.

La collection déjà si intéressante de l'*Encyclopédie industrielle*, fondée par M. Lechalas, s'enrichit grâce au professeur Masoni d'un Ouvrage très important sur l'énergie mécanique des courants d'eau et les récepteurs hydrauliques.

M. Masoni s'est donné pour tâche d'initier à la théorie et au calcul des turbines et des roues les ingénieurs non spécialistes en cette matière, mais possédant pourtant les notions de mécanique fondamentales et quelques connaissances générales en hydraulique. Tout en étudiant de façon complète les organes essentiels des machines hydrauliques, l'auteur a laissé de côté les détails de forme et de dimensions qui relèveraient plutôt d'un traité de construction. Tel qu'il se présente ainsi, écrit dans une langue claire et précise avec toute la compétence de son auteur, ce Livre sera lu avec fruit par tous les électriciens soucieux de leur culture générale ou amenés par la pratique des installations à l'étude des machines hydrauliques.

L'Ouvrage se divise en quatre Parties :

Dans la première, consacrée aux généralités sur les courants d'eau et les machines

qui les utilisent, l'auteur fixe les équations générales des courants et les expressions de leurs actions sur les parois : il étudie ensuite les conditions générales des installations et les machines hydrauliques ; il décrit et classe les récepteurs les plus employés.

La seconde Partie est consacrée aux roues hydrauliques, à augets, à palettes de côté et à palettes en dessous.

L'étude des turbines constitue la troisième Partie, de beaucoup la plus importante. Après en avoir donné une théorie complète, l'auteur décrit les types courants de turbines et les dispositifs de support, de vannage et de réglage automatique.

Enfin, la quatrième Partie a trait aux machines à colonne d'eau et aux récepteurs hydrauliques opérateurs.

Rapport de la Commission nommée par le Gouvernement canadien pour étudier, en Europe, les divers procédés employés pour la réduction électrothermique des minerais de fer et la fabrication de l'acier au four électrique, 1 vol. in-8° de 236 pages avec 24 planches et 29 figures, à Ottawa (Canada), 1905.

Le Gouvernement canadien, dans le but de créer des débouchés aux grandes usines hydraulico-électriques, existant ou à construire sur son territoire, a nommé en décembre 1903 une Commission d'étude. Cette Commission devait étudier sur place les procédés électrothermiques mis en œuvre pour fabriquer la fonte, le fer et l'acier. Elle avait pour mission de se renseigner sur la valeur technique des procédés, sur la qualité des produits obtenus, sur le coût du matériel de premier établissement et sur les prix de revient.

Le Volume actuel réunit les rapports du superintendant des mines du Canada, d'un ingénieur-électricien et d'un chimiste métallurgiste, membres de la Commission en question.

On y trouvera la description et l'analyse critique des procédés Kjellin, Heroult, Stassano, Keller, Harmet, Gin. Dans leurs rapports respectifs, les membres de la Commission signalent, chacun en ce qui le concerne, leurs observations et leurs conclusions.

Les conclusions générales font ressortir que, dans l'état actuel, le four électrique ne peut faire concurrence aux hauts fourneaux et aux autres fours à fonte ou à acier à combustible ordinaire, que lorsqu'on peut se procurer l'énergie électrique à bon compte et que la houille ou le coke sont très chers.

L'intérêt du rapport actuel est surtout d'avoir réuni des documents et des dessins cotés, il en résulte pour les chercheurs futurs de précieux enseignements, leur évitant de tomber dans des écueils rencontrés déjà et surmontés dès maintenant.

L'Éclairage, par A. VEBER, député, 1 vol. in-8, 340 pages.
Paris, H. Dunod et Pinat, 1906.

Cet Ouvrage est le premier Volume paru de la *Bibliothèque des services publics municipaux et départementaux*, publiée sous la direction de M. Brousse. C'est dire qu'il laisse de côté toute question technique et ne traite que les questions administratives, les relations de la Ville de Paris avec les diverses sociétés qui fournissent l'éclairage.

Après avoir fait l'historique de l'éclairage de Paris, depuis la chandelle jusqu'au réverbère, l'auteur s'étend sur toutes les négociations et tous les démêlés de la Ville avec la Compagnie du gaz et conclut en faveur de la municipalisation des services et de l'établissement de la Régie.

L'Électricité, les traités actuels avec les secteurs et les projets pour l'avenir font l'objet d'un Chapitre d'une centaine de pages avec quelques documents techniques tirés des statistiques de la Ville.

Moteurs à collecteur à courants alternatifs, par le D^r F. NIETHAMMER, Professeur à l'École technique supérieure de Brünn (Autriche). Édité par l'*Éclairage électrique*.

Les avantages des distributions d'énergie par courant alternatif simple attirent depuis longtemps l'attention des ingénieurs, surtout en vue de la traction électrique sur grandes distances. Ainsi s'explique la faveur accordée depuis quelques années par les chercheurs à la question du moteur à courant alternatif simple. Malgré les difficultés rencontrées au début, chaque jour fait accomplir un pas nouveau vers la solution et, en particulier, les articles et discussions sur les *moteurs à collecteur et leurs propriétés* sont innombrables aujourd'hui. Il résulte par contre, de cette activité intellectuelle, que les théories et documents sont épars dans tous les périodiques. Le D^r Niethammer, dont les travaux de technique industrielle sont si hautement appréciés, a comblé une véritable lacune en réunissant, en un fascicule de lecture aisée, la théorie et les détails de construction de cette intéressante classe d'appareils ; il a ainsi rendu un véritable service aux praticiens et l'*Éclairage électrique* a réellement eu une heureuse inspiration en patronnant cette publication.

Après un court exposé historique, l'auteur aborde et développe le point capital de la commutation et des diagrammes, puis il décrit quelques moteurs types et fournit de nombreux détails sur leur construction.

L'équilibre des fils électriques. Conditions de pose, par A. PILLONEL, extrait de la *Schweiz.-electrotechnischer Zeitschrift*, 1906, n^o 1 à 17. Zurich, imprimerie Fritz Amberger. Paris, librairie Dunod.

Ce travail, qui résume un grand nombre d'études publiées sur la question, peut avantageusement prendre place parmi les plus intéressants.

On y trouvera, en particulier, des indications détaillées sur les conditions d'équilibre des fils lorsque les points d'attache sont à des hauteurs différentes.

L'auteur montre, d'autre part, combien nous sommes peu renseignés sur l'importance des surcharges dues à la neige, au givre, au verglas et au vent, et insiste sur la nécessité de faire des expériences à ce sujet ; il critique la règle formulée par le Congrès d'Électricité de 1889 qui indique de donner aux fils une tension de pose, à 10 degrés centigrades (d. c.), égale au cinquième de leur charge de rupture, cette règle conduit à des tensions trop élevées.

Quoique écrite plus spécialement au point de vue des lignes télégraphiques et téléphoniques, cette étude peut rendre de grands services pour le calcul des lignes de transport d'énergie.

Manuel d'Électricité théorique et pratique, par MM. BOUASSE et L. BRIZARD.

1 vol. 130 × 190, 300 pages. Paris, Ch. Delagrave, éditeur.

Le *Manuel d'Électricité théorique et pratique* de MM. Bouasse et Brizard porte le cachet d'originalité des livres classiques précédemment publiés par M. Bouasse. Toujours le même souci d'écrire comme l'on professe, en soulignant les mots à retenir qui précisent la pensée et dissipent toute confusion. Critique averti et redoutable, ennemi déclaré de ceux qui cachent sous une phrase toute faite ou une analogie douteuse, une idée imprécise, M. Bouasse a su imposer dans l'Université sa manière d'enseigner, et par là au moins le livre qu'il a fait, en collaboration avec M. Brizard, est à l'ordre du jour. Car il ne manque pas de Traités élémentaires d'électricité, tous plus ou moins destinés à la vulgarisation. Mais celui-ci est un Traité pourtant élémentaire et qui n'a pas la prétention de vulgariser, parce que, disent les auteurs, la Science ne se vulgarise pas. Ces maîtres de la pédagogie moderne estiment qu'à celui qui veut s'initier, il faut tout d'abord, non pas une idée vague ou une vue d'ensemble, mais des connaissances bien établies, qui permettront d'aborder avec fruit les Traités plus difficiles ; supposant connus simplement l'Arithmétique et les premiers rudiments de l'Algèbre, le livre aborde résolument l'électricité par l'étude des courants et des aimants, en s'appuyant sur une série d'expériences simples, mais décrites avec tout le détail qui permet de les réaliser. L'électricité statique vient en second lieu et, pour finir, les auteurs n'abandonnent pas le lecteur sans lui avoir donné quelques idées nettes sur les rayons cathodiques, les rayons X, les oscillations électriques et la télégraphie sans fil.

En résumé, livre attrayant, élémentaire et pourtant complet, parce qu'il est écrit par des hommes qui connaissent les difficultés de chaque question pour avoir eu des élèves, et qui se sont donné à tâche d'éclairer principalement les points délicats et d'éviter toutes les imprécisions que pouvaient laisser subsister les anciennes méthodes. Les électriciens liront ce livre avec intérêt.

Les nouveaux appareils pour la mesure rapide des bases géodésiques, par

MM. BENOÎT et GUILLAUME. 4 vol. 150 × 230, 85 pages. Paris, Gauthier-Villars, éditeur, 1906.

On connaît les beaux travaux de MM. Benoît et Guillaume sur la mesure des bases géodésiques. Ces savants ont perfectionné la méthode de mesure par fils tendus, inaugurée par le professeur Jäderin, au point de la rendre méconnaissable. L'emploi de l'invar a supprimé les corrections de température, principale difficulté subsistant dans la méthode du professeur suédois ; l'étude approfondie des fils au pavillon de Breteuil a fixé l'ordre de grandeur des erreurs désormais possibles ; la construction d'un matériel nouveau qui rivalise de perfection avec la méthode elle-même, par sa précision et sa simplicité, a permis enfin d'augmenter le rendement des mesures sur le terrain et n'a pas peu contribué à répandre la nouvelle méthode.

Compte rendu des essais et comparaisons des fils d'invar, description des appareils de mesure, application sur le terrain, telle est la matière du livre de MM. Benoît et Guillaume. Tous ceux qui veulent connaître le plaisir délicat de s'initier à une question

mise au point magistralement, grâce à des expériences qui mériteraient de devenir classiques, liront ce petit livre avec intérêt. Nos compliments aux auteurs de ce beau travail iront aussi au troisième collaborateur dont le titre ne fait pas mention, et qui est le constructeur, M. J. Carpentier.

Troisième supplément au Cours de Physique de l'École Polytechnique (*Cours de M. Jamin*), par M. BOUTY. 1 vol. 150 × 230, 400 pages. Paris, Gauthier-Villars, éditeur.

Dans ces dernières années, l'étude des rayons cathodiques, de la radioactivité et, en général, de tout ce qui touche au passage de l'électricité à travers les gaz, a donné naissance à une nouvelle conception de la matière et de l'électricité et a transformé les idées qui dirigent actuellement les physiciens. C'est pour mettre l'enseignement supérieur à la hauteur des théories modernes que M. Bouty a voulu condenser, sous la forme d'un *Traité* classique, les travaux récents, dont les plus importants ont fourni la matière des rapports au Congrès de physique de 1900.

Il fallait toute la concision et la clarté d'exposition de l'auteur pour mener à bien cette tâche extrêmement délicate qui consiste à rendre abordables aux lecteurs non initiés les théories et les expériences les plus complexes, et cela sans rien sacrifier à l'exactitude. Pour ceux d'ailleurs à qui le développement de certaines questions paraîtrait paraître insuffisant, l'auteur a ménagé des notes bibliographiques très complètes qui permettent de remonter aux sources.

Le livre comprend trois Parties principales traitant des radiations, des phénomènes électriques et de l'ionisation.

Dans la première Partie (quatre Chapitres), l'auteur étudie le corps noir et la pression de radiation, l'émission des gaz, le spectre infra-rouge et les ondes hertziennes.

La deuxième Partie (quatre Chapitres) est consacrée à l'étude de la convection électrique, du magnétisme, des courants alternatifs et polyphasés, de l'électrolyse et de la théorie de Nernst relative aux électrolytes.

La troisième Partie, de beaucoup la plus développée, comprend neuf chapitres : elle est consacrée spécialement au passage de l'électricité à travers les gaz et traite successivement de la condensation de la vapeur d'eau, de l'étude des ions gazeux, de la radioactivité, de la cohésion diélectrique des gaz et de la décharge. Le dernier Chapitre décrit les instruments les plus employés dans ce genre de recherches.



BULLETIN
DE LA
SOCIÉTÉ INTERNATIONALE
DES
ÉLECTRICIENS.

SOMMAIRE.

Admissions de Membres titulaires, p. 406. — Compte rendu de la réunion de la Commission électrotechnique internationale, à Londres (M. P. Janet), p. 409. — Nouveau galvanomètre enregistreur de MM. Blondel et Ragonot et ses applications à l'étude des courants alternatifs (M. Boutin), p. 419.

INFORMATIONS, p. 438.

BIBLIOGRAPHIE, p. 439.

OUVRAGES OFFERTS, p. 443.

COMPTE RENDU

DE LA

RÉUNION ORDINAIRE MENSUELLE

du mercredi 7 novembre 1906 ⁽¹⁾.

PRÉSIDENCE DE M. MAURICE LEBLANC.

La séance est ouverte à 8^h35^m du soir.

Le procès-verbal de la dernière réunion mensuelle est adopté.

(¹) La Société n'est pas solidaire des opinions émises par ses membres dans les discussions, ni responsable des Notes ou Mémoires publiés dans le *Bulletin*.

Il est donné connaissance des Ouvrages offerts à la Bibliothèque (voir p. 443), et des demandes d'admission suivantes :

MM.

- Barré** (Pierre), Chef de traction à la *Compagnie des tramways du département de la Seine* ; 50, boulevard Voltaire, à Asnières (Seine). — Présenté par MM. Harlé et Rey.
- Baux** (Adolphe), Administrateur délégué de la *Société française de l'Accumulateur Tudor* ; 81, rue Saint-Lazare, à Paris. — Présenté par MM. Leblanc et Brylinski.
- Cailleaux**, Electricien ; à Chagny-le-Pin (Orne). — Présenté par MM. J. Mariage et Maquaire.
- Debray** (Paul), Directeur de la *Compagnie parisienne de l'Air comprimé* ; 41, avenue Kléber, à Paris. — Présenté par MM. Leblanc et Brylinski.
- Dalemont** (Julien), Professeur d'Electrotechnique à l'Université de Fribourg ; villa Erica, à Fribourg (Suisse). — Présenté par MM. Leblanc et Blondel.
- Dreyfus**, (Jules), Directeur commercial de la *Société électrométallurgique française de Froges* ; 30, rue du Rocher, à Paris. — Présenté par MM. Leblanc et Eschwège.
- Dumartin** (Louis-Charles-Horace), Administrateur délégué de la *Société d'éclairage électrique du Boulonnais*, Ingénieur conseil de la *Société française électrique* ; 95, rue Jouffroy, à Paris. — Présenté par MM. Leblanc et Eschwège.
- Ferron** (Louis-Amilcar), 12, boulevard Pasteur, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Getting** (Edouard-Henri), Administrateur délégué de la *Compagnie française de charbons pour l'électricité. Usine du Moulin Noir*, Nanterre ; 49, rue de Provence, à Paris. — Présenté par MM. Leblanc et Eschwège.
- Janvier** (Georges), Chef des services commerciaux des *Stations centrales à la Compagnie générale d'Électricité* ; 94, rue de Colombes, à Asnières (Seine). — Présenté par MM. Brylinski et Armagnat.
- Jauffret** (Henri), Ingénieur à la *Compagnie générale française et continentale d'Éclairage* ; 18, rue de Bruxelles, à Paris. — Présenté par MM. Fontaine et Chaumat.
- Lasserre** (Paul-Gilbert-Marie), à Pionsat (Puy-de-Dôme). — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Louis** (Charles-Raoul-Joseph), Ingénieur directeur de la *Société pyrénéenne du silico-manganèse, à l'Usine de Villelongue* ; Villelongue (Hautes-Pyrénées). — Présenté par MM. Ilievici et Marec.
- Marchand et Dreyfus**, Dépositaires du *Creusot* ; 100, quai de la Rapée, à Paris. — Présenté par MM. Bloch et Brunswick.
- Marshall** (Nusserwauji Maneckshaw), Electric Light and Power Contractor and Engineer ; Esplanade Road, à Bombay (Indes). — Présenté par MM. Waterhouse et Armagnat.
- Mathieu** (Camillo-Nicolas), Licencié ès sciences, Ingénieur ; 53, rue des 4-Eglises, à Nancy (Meurthe-et-Moselle). — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Sée** (Raymond-Pierre-André), Sous-Directeur de la *Compagnie d'Electricité Ouest-Lumière*, à Puteaux ; 25, avenue Wagram, Paris. — Présenté par MM. Brylinski et Langlade.

MM.

Vernet (François), Ingénieur des Arts et Manufactures, Ingénieur à la *Compagnie générale des Travaux d'éclairage et de force* ; 26, rue de Navarin, à Paris. —
Présenté par MM. Desroziers et Marcel Mayer.

Widmer (Jules-Henri), Ingénieur principal au *Secteur électrique de la Place Clichy* ;
53, rue des Dames, à Paris. — Présenté par MM. Leblanc et Brylinski.

Ces candidats sont élus membres titulaires de la Société internationale des Électriciens.

L'ordre du jour appelle les Communications techniques.

**COMPTE RENDU DE LA RÉUNION DE LA COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE TENUE A LONDRES LES 26 ET 27 JUIN 1906.**

M. P. JANET. — « Messieurs, personne n'ignore l'importance qu'ont prise, dans ces vingt-cinq dernières années, les questions d'entente internationale en Électricité. Les nombreux Congrès qui se sont succédé dans cet intervalle de temps, et qui ont continué l'œuvre fondamentale du célèbre Congrès de 1881, ont pris une série de décisions sur lesquelles, on peut le dire, nous vivons aujourd'hui. On trouvera un résumé complet de ces décisions dans le rapport que M. Hospitalier a présenté au Congrès de 1900. Pour la plupart elles se rapportent aux unités électriques, et c'était bien par là qu'il fallait commencer pour établir l'uniformité du langage et des recherches dans tous les pays du monde. Mais, à l'heure actuelle, en présence du développement considérable de l'industrie électrique, il semble que des questions d'entente internationale, d'une nature différente, peuvent être soulevées avec fruit; déjà la circulaire générale d'invitation, qui précéda le Congrès de 1900, contenait cette phrase significative : « Il semble donc que, sans » enlever aux questions de théorie le rôle important qui leur con- » vient, les discussions du Congrès devront avoir surtout un carac- » tère industriel et économique. » Cette tendance s'est accentuée au Congrès de Saint-Louis tenu en 1904, le dernier en date des Congrès internationaux d'Électricité. A ce Congrès, où étaient représentés les pays suivants (1) : Allemagne, Autriche, Australie, Canada, Danemark, Espagne, États-Unis, France, Grande-Bretagne, Hongrie, Italie, Indes, Mexique, République Argentine, Suède, Suisse, la Chambre des délégués de gouvernements émit le vœu suivant :

« Que des démarches devraient être faites en vue d'assurer

(1) Les délégués pour la France étaient : MM. Dennery, capitaine Ferrié, Paul Janet, Guillebot de Nerville, Henri Poincaré.

» la coopération des Sociétés techniques du monde pour la constitution d'une Commission représentative chargée d'examiner la question de l'unification de la nomenclature et de la classification des appareils et machines électriques. »

» Les délégués étaient invités par le Congrès à transmettre cette résolution aux diverses Sociétés techniques et à envoyer leur rapport à M. le colonel Crompton, en Angleterre, ou au président de l'Association américaine des Ingénieurs électriciens.

» Saisi de la question dans sa séance du 14 juin 1905, le Comité de notre Société jugea qu'il y avait lieu de participer à la formation de la Commission internationale projetée.

» A la suite d'une correspondance suivie échangée avec M. le colonel Crompton à Londres, les principaux pays adhèrent au principe de la formation d'une Commission électrotechnique internationale, et une première réunion préparatoire des délégués des différents pays eut lieu à Londres les 26 et 27 juin dernier; par une heureuse pensée, ces dates coïncidaient avec celles des réceptions organisées par nos collègues de l'*Institution of electrical Engineers*, dont on a pu lire le compte rendu, par M. Brylinski, dans le dernier numéro de notre *Bulletin*. Les pays représentés étaient : l'Allemagne, l'Autriche, la Belgique, le Canada, le Danemark, les États-Unis, la France, la Grande-Bretagne, la Hollande, la Hongrie, l'Italie, le Japon, la Suisse.

» La réunion, présidée par M. Alexandre Siemens, avait pour objet l'examen des statuts provisoires, préparés par l'*Institution of electrical Engineers*, pour l'organisation de la Commission internationale; ces projets de statuts avaient été préalablement envoyés, quelques mois auparavant, à toutes les Sociétés participantes, et notre Société en avait confié l'examen à la première section de son Comité.

» Les séances tenues à Londres les 26 et 27 juin eurent pour objet la revision et le vote de ces statuts. Les délégués de notre Société furent assez heureux pour obtenir quelques modifications importantes au texte primitivement proposé.

» On trouvera plus loin la traduction française officielle de ces statuts. Nous en résumerons ici les dispositions principales.

» Tout pays ayant son gouvernement propre pourra prendre part aux travaux de la Commission internationale, en constituant un comité local qui entrera en relations, par correspondance, avec le bureau central, établi à Londres.

» Chaque comité local élira un président qui sera de droit vice-président de la Commission électrotechnique internationale, et désignera ses délégués à la Commission internationale. L'un de ces délégués fera partie du conseil de la Commission.

» Chaque pays n'aura droit qu'à une voix, quel que soit le nombre des délégués qu'il ait nommés; mais, seules, les décisions prises à l'unanimité par la Commission pourront être publiées comme décisions de la Commission. Toute décision résultant d'un vote divisé ne peut être publiée qu'en y ajoutant les noms des pays votant pour et contre.

» Nous devons ajouter que cette importante disposition, qui sauvegarde tous les intérêts, ne figurait pas dans le texte primitif, et que ce sont vos délégués qui ont été assez heureux pour l'y faire insérer.

» Il a été convenu, de plus, que la plupart des travaux se feraient par correspondance, pour éviter des frais de déplacement inutiles, et que la Commission elle-même ne se réunirait que dans les cas justifiés par l'importance des questions mises en discussion. Les frais généraux du bureau central seront partagés par parties égales entre tous les pays participants; on estime qu'ils s'élèveront environ à 1250 fr (50 livres) par pays et par an.

» Avant de se séparer, la réunion de Londres désigna, comme Président de la Commission électrotechnique internationale, lord Kelvin et, comme secrétaire honoraire, le colonel Crompton.

» Conformément à ces décisions, la Société internationale des Électriciens a pris l'initiative de la formation du comité national français; sur la proposition de la première section du comité, une lettre circulaire, dont on trouvera plus loin le texte ⁽¹⁾, a été adressée par notre Président aux principales Sociétés s'occupant d'Électricité, soit exclusivement, soit conjointement avec d'autres

(¹) Voir Annexe III.

objets (1), pour leur demander de participer à la formation du comité local français. Nous avons lieu d'espérer que ce comité pourra être formé avant la fin de l'année.

» J'ajoute que, d'après les nouvelles que je viens de recevoir, le Comité national anglais est déjà formé et a la composition suivante :

M. John Gavey, C. B., *Président.*

Sir W.-H. Preece, K. C. B., F. R. S. }
M. A. Siemens } *Vice-présidents.*

The R. Hon. Lord Rayleigh, O. M. F. R. S. }
Dr R.-T. Glazebrook, F. R. S. } *Représentant la Science pure.*

Prof. S.-P. Thompson }
M. A.-C. Eborall } *Représentant les Ingénieurs.*
M. M.-B. Field }

Colonel H.-C.-L. Holden, F. R. S. }
M. A.-P. Trotter } *Représentant les départements techniques*
M. C.-H. Wordingham } *du Gouvernement.*

(1) Ces Sociétés sont les suivantes :

Société française de Physique ;
Société des Ingénieurs civils de France ;
Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale ;
Société de l'Industrie minière ;
Société industrielle du nord de la France ;
Société industrielle de l'Est ;
Société technique de l'Industrie du gaz ;
Association technique maritime ;
Syndicat professionnel des Industries électriques ;
Syndicat professionnel des Usines d'Électricité ;
Association des Ingénieurs électriciens ;
Association parisienne des Propriétaires d'appareils à vapeur ;
Association lyonnaise des Propriétaires d'appareils à vapeur ;
Association des Propriétaires d'appareils à vapeur de l'Ouest ;
Association des Propriétaires d'appareils à vapeur du Sud-Est ;
Association des Propriétaires d'appareils à vapeur du Nord-Est ;
Association des Propriétaires d'appareils à vapeur du nord de la France ;
Association normande des Propriétaires d'appareils à vapeur ;
Association des Propriétaires d'appareils à vapeur du Sud-Ouest ;
Association des Propriétaires d'appareils à vapeur de la Somme, de l'Aisne et de l'Oise ;
Association méridionale des Propriétaires d'appareils à vapeur, à Montpellier.

M. C.-H. Baillie

M. W. Duddell

M. R. Kaye Gray

M. C.-H. Merz

M. J. Swinburne, F. R. S.

M. C.-P. Sparks

M. Vignoles

Colonel R.-E. Crompton, C. B.

Représentant l'industrie électrique.

» Il est probable que les premières questions mises en discussion seront des questions de nomenclature, pour lesquelles l'entente par correspondance sera relativement facile.

» Aucun programme n'a été mis en avant pour les travaux ultérieurs de la Commission. Son but primitif, unification de la nomenclature et de la classification des machines et appareils électriques, peut paraître bien modeste; mais il est impossible de prévoir les autres objets qui se grefferont plus tard sur celui-là; chaque fois que des questions d'entente internationale sont ainsi soulevées, surtout dans le domaine industriel, des intérêts considérables peuvent être mis en cause; à ce titre il était essentiel, quelque opinion que l'on eût sur le fond de la question, que la France fût représentée dans la Commission internationale; nous estimons que la Société internationale des Électriciens aura fait une œuvre utile en assurant la formation du Comité français de la Commission électrotechnique internationale. »

ANNEXE I.

LISTE DES DÉLÉGUÉS A LA RÉUNION DE LONDRES.

Comité exécutif de la Commission électrotechnique internationale (Grande-Bretagne).

M. Alexandre Siemens (*Président*).

Sir William Preece (K. C. B.).

Col. R.-E. Crompton C. B. (*Secrétaire honoraire*).

M. John Gavey, C. B.

M. R.-T. Glazebrook.

M. Robert Kaye Gray.

M. Charles-P. Sparks.

M. C.-H. Wordingham.

- » *Allemagne* (Verband deutscher Electrotechniker). — D^r. E. Budde, M. G. Dettmar.
- » *Autriche* (Elektrotechnische Verein). — D^r E. Rosenberg, Prof. Karl Pichelmeyer.
- » *Belgique* (Société belge d'Electriciens). — M. Léon Gérard.
- » *Canada* (Comité local d'uniformisation). — MM. R.-B. Owens, L.-A. Herdt.
- » *États-Unis d'Amérique* (Institute of Electrical Engineers). — D^r. F.-B. Crocker, D^r. A.-E. Kennelly, M. C.-O. Mailloux.
- » *France* (Société internationale des Électriciens). — MM. Boucherot, David, P. Janet.
- » *Hollande* (Koninlijk Instituut van Ingenieurs). — Prof. E. Feldmann, M. W. Smit.
- » *Hongrie* (Ministère du Commerce). — MM. Joseph Vater, Desidère Harsanyi.
- » *Italie* (Elettrotecnica italiana). — Prof. L. Lombardi, M. Guido Semenza.
- » *Japon*. — D^r Fujoka.
- » *Suisse* (Société suisse des Électriciens). — Prof. J.-L. Farny, M. K.-P. Tauber. »

ANNEXE II.

STATUTS DE LA COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE.

(Adoptés par la Commission de Londres dans sa séance du 27 juin 1906.)

« 1. La Commission est formée dans le but de donner suite à la résolution de la Chambre des Délégués des Gouvernements au Congrès international d'Électricité, tenu à Saint-Louis, en septembre 1904 :

» Que des démarches devraient être faites en vue d'assurer la coopération des Sociétés techniques du monde, par la constitution d'une Commission représentative chargée d'examiner la question de l'unification de la nomenclature et des classifications ⁽¹⁾ des appareils électriques. »

» 2. Tout pays ayant son gouvernement propre, qui désirera prendre part à la Commission, peut former un Comité local, et chaque Comité peut choisir un Président et deux Vice-Présidents parmi ses membres, et nommer un Secrétaire qui tiendra les archives du Comité local, et sera chargé de toute la correspondance.

» 3. Ces Comités devront, en premier lieu, être formés, un pour chaque pays, par les Sociétés techniques de chaque pays, pourvu que celles-ci aient au moins trois années d'existence avant de participer à la formation de ces Comités, et pourvu qu'elles s'occupent d'électricité industrielle, soit exclusivement, soit conjointement avec d'autres sujets techniques. Il n'est pas nécessaire que les personnes nommées aux Comités soient membres de Sociétés techniques. Dans un pays n'ayant pas de Société technique de ce genre le Gouvernement peut constituer le Comité.

» 4. Chaque Comité enverra des Délégués techniques à la Commission. Les lettres

⁽¹⁾ En anglais : *Ratings*.

accréditant les Délégués seront soumises à l'approbation du Conseil de la Commission.

» 5. Chaque pays n'aura droit qu'à une voix, soit directement, soit par procuration, soit par correspondance, quel que soit le nombre de Délégués qu'il ait nommés. Seules les décisions prises à l'unanimité par la Commission pourront être publiées comme décisions de la Commission. Toute décision résultant d'un vote divisé ne peut être publiée qu'en y ajoutant les noms des pays votant pour et contre.

» 6. Le Bureau central de la Commission sera établi, au début, à Londres, au bureau de l'Institution of Electrical Engineers, 92, Victoria street, Westminster, S. W. et, provisoirement, le secrétaire de l'Institution of Electrical Engineers pourra agir comme secrétaire ⁽¹⁾.

» 7. A la réunion préliminaire de la Commission convoquée pour le 27 juin 1906, les Délégués présents devront élire le Président et le Secrétaire honoraire, lesquels peuvent ne pas être Délégués.

» 8. Les affaires de la Commission et les méthodes à adopter pour remplir sa mission seront déterminées par le Conseil de la Commission.

» Le Conseil se composera de :

» *a.* Le Président de la Commission ;

» *b.* Les Présidents des Comités locaux, qui seront, d'office, Vice-Présidents de la Commission ;

» *c.* Un délégué de chaque Comité local ;

» *d.* Le Secrétaire honoraire.

» Le Conseil nommera le Secrétaire honoraire et le personnel qu'il jugera nécessaire, dans les termes et suivant les conditions qu'il déterminera.

» 9. Les premiers Présidents et Délégués des Comités locaux feront partie du Conseil jusqu'au 31 décembre 1907. A la fin de cette année et de chaque année suivante, chaque Comité local fera part, pendant le mois de décembre, au Secrétaire honoraire, de tout changement dans sa représentation.

» Le Conseil devra élire chaque année le Président et le Secrétaire honoraire de la Commission, et leur mandat sera d'un an à partir du premier janvier qui suivra leur élection. Ils seront rééligibles. Dans le cas où une élection régulière n'aurait pas eu lieu, ils conserveront leurs fonctions jusqu'à ce que leurs successeurs aient été nommés.

» 10. En général, tous les travaux de la Commission se feront par correspondance entre les Comités locaux et le Secrétaire honoraire, mais le Président de la Commission, ou, si ce dernier est absent ou ne peut agir pour d'autres raisons, l'un des Vice-Présidents, pourra, d'accord avec un Vice-Président, convoquer une réunion soit du Conseil seul, soit de la Commission entière selon le cas, et lesdites réunions auront lieu à Londres ou en tel autre lieu que la majorité du Conseil choisira. Une réunion sera

(1) Le Bureau central de la Commission est actuellement installé : 28, Victoria Street, Westminster, Londres.

aussi convoquée lorsqu'elle sera dûment requise par les Comités locaux de trois pays. Le jour de la réunion sera fixé dans les trois mois à partir de la date de réception de la requête au Bureau central de la Commission.

» 11. Chaque Comité local pourra fixer son propre Règlement, comme bon lui semblera, pourvu que ses statuts ne soient pas incompatibles avec ceux de la Commission.

» 12. Chaque Comité local devra pourvoir à ses propres dépenses et devra contribuer aux dépenses du Bureau central pour une part qui sera égale pour tous les pays participant à la Commission.

» 13. Les comptes du Bureau central, lesquels devront être dressés annuellement, seront signés par le Président ou un des Vice-Présidents et le Secrétaire honoraire, et le rapport d'un comptable professionnel sera accepté comme preuve de leur exactitude.

» 14. Des modifications à ces statuts peuvent être proposées par un Comité local et devront être dûment communiquées par écrit au Secrétaire honoraire.

» A la réception de propositions de ce genre, le Secrétaire honoraire devra les communiquer sans délai à tous les Comités locaux, et devra fixer une date, éloignée de la date de sa lettre d'un intervalle d'au moins quatre mois, pendant lequel délai les Comités locaux peuvent présenter des objections par écrit.

» Si les deux tiers des pays envoyant des Délégués à la Commission internationale électrotechnique donnent leur consentement à l'adoption des modifications proposées soit expressément, soit en ne répondant pas au Secrétaire honoraire durant le temps prescrit, les modifications proposées seront soumises au Conseil qui en disposera comme il l'entendra. »

ANNEXE III.

« MONSIEUR LE PRÉSIDENT,

» Une Conférence internationale sous le titre de *Commission électrotechnique internationale* s'est réunie à Londres, au mois de juin dernier, pour étudier, de concert avec les délégués des différents pays, l'unification de la nomenclature électrique et des méthodes de mesure et de classification des divers appareils employés dans l'Électrotechnique.

» Depuis quelques années, en effet, on constate qu'avec la multiplicité croissante des applications de l'Électricité, les différences de construction, d'établissement, de mesure et de terminologie des appareils électriques, qui se manifestent d'un pays à l'autre, deviennent un obstacle pratique, de plus en plus grave, aux rapports internationaux, en ce qui touche l'industrie électrique.

» La Conférence de Londres a décidé, pour l'étude de cette unification internationale (standardisation), la formation, dans chaque pays, d'un Comité national, les délégués nommés par chaque Comité constituant l'organe central international.

» La Société des Électriciens a pensé que votre Société voudrait bien s'intéresser à cette œuvre, dont l'importance ne vous échappera pas, et qu'elle accepterait de nommer un certain nombre de délégués pour la représenter au sein du Comité national, dont nous avons entrepris la constitution.

» Je vous serai particulièrement obligé, Monsieur le Président, de bien vouloir soumettre la proposition à vos Collègues et de me faire savoir, dès qu'il vous sera possible, si votre Société veut bien nous assister dans la formation du Comité national français.

» Je me permets de joindre à ces lignes un résumé de ce qui a été décidé à Londres et de l'état actuel de la question.

» Veuillez agréer, Monsieur le Président, l'expression de ma considération distinguée.

» Signé :

» *Le Président de la Société internationale des Électriciens,*

» M. LEBLANC. »

M. le PRÉSIDENT remercie MM. les Délégués de la Société et en particulier MM. P. Janet et Boucherot pour la brillante façon dont ils l'ont représentée à Londres.

**NOUVEAU GALVANOMÈTRE ENREGISTREUR DE MM. BLONDEL ET RAGONOT
ET SES APPLICATIONS A L'ÉTUDE DES COURANTS ALTERNATIFS.**

M. BOUTIN. — « L'objet de cette présentation est tout d'abord un galvanomètre enregistreur permettant de réaliser des déviations verticales de grande amplitude, sans intervention de système amplificateur, et de les inscrire au moyen d'une plume sur un tambour, à axe vertical, mû, soit par un mouvement d'horlogerie, soit par un moteur électrique.

» En outre, comme application de ce dernier cas, on décrira un mode de commande synchronique du tambour, qui permet de le combiner avec un contact instantané pour l'application du galvanomètre enregistreur à l'inscription continue des courbes de courant alternatif, suivant la méthode du contact instantané de Joubert modifiée par M. Blondel.

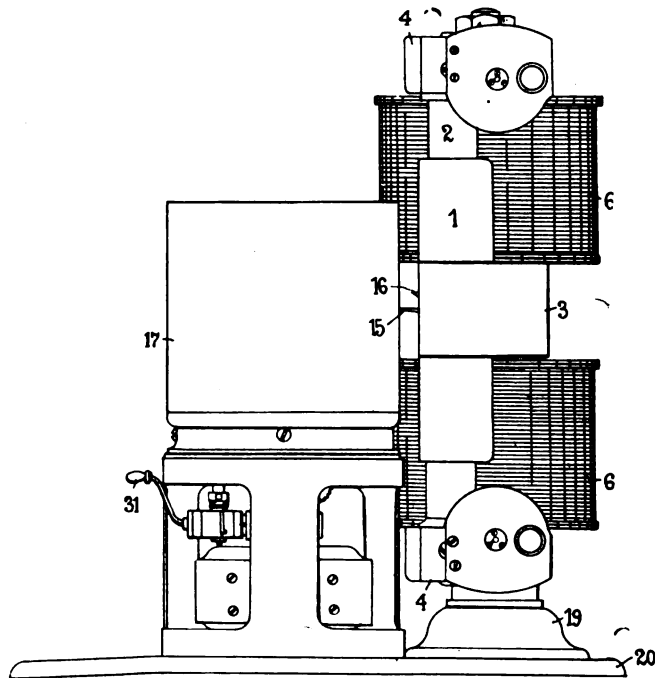
I. — DESCRIPTION DU GALVANOMÈTRE ENREGISTREUR.

» La plupart des galvanomètres enregistreurs connus actuellement donnent des tracés courbes et non pas rectilignes; cela tient à ce qu'il est beaucoup plus facile de réaliser ce mouvement, au moyen d'un équipement tournant autour d'un axe fixe, que de réaliser un mouvement rectiligne. Certains auteurs, cependant, ont déjà construit des galvanomètres dont la plume se déplace verticalement; par exemple, la Maison Hartmann et Braun a construit des modèles fondés sur le principe de l'attraction d'un fer doux; mais alors, la déviation ne change pas de sens avec le courant. La même maison a construit un enregistreur fondé sur l'emploi d'un galvanomètre à cadre mobile muni de grands secteurs en aluminium entre lesquels est tendu un fil portant une plume; mais alors l'inertie d'un pareil système devient considérable, les oscillations deviennent lentes et les frottements sur la plume prennent une importance relativement considérable par rapport au couple directeur, ce qui rend délicat le réglage de la plume sur le papier et nuit à la sécurité de l'appareil.

» Une autre disposition ingénieuse qui a été décrite autrefois devant la Société des Électriciens ⁽¹⁾, par M. d'Arsonval, consiste dans une bobine circulaire capable de subir, dans un champ magnétique annulaire, un petit déplacement, qui est amplifié par une transmission pneumatique analogue à celle des tambours enregistreurs de Marey. Ce dispositif a fatalement les inconvénients communs à tous systèmes d'amplification, c'est-à-dire une période d'oscillation lente et des frottements multiples qui nuisent à la sécurité des indications.

» L'appareil nouveau imaginé par M. Blondel et construit et mis au point avec beaucoup d'habileté par M. Ragonot, part du même

Fig. 1.

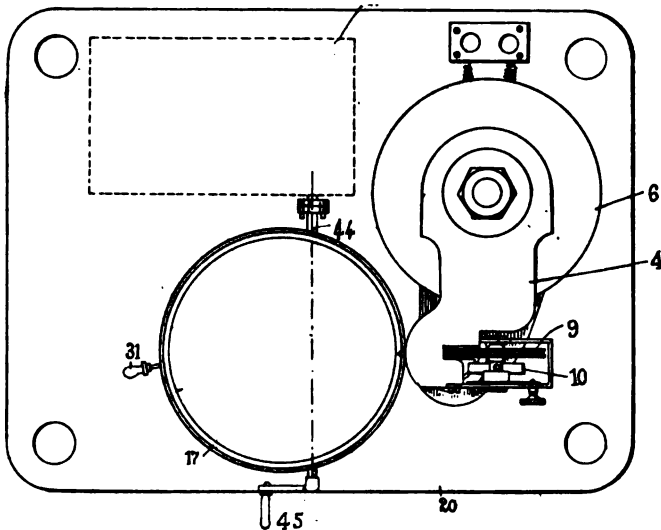


principe que celui de M. d'Arsonval, mais remplace l'amplification mécanique par un agrandissement du champ magnétique dans lequel peut se déplacer l'équipage et par une suspension de l'équipage permettant de grands déplacements, de telle sorte qu'on peut fixer la plume directement à l'équipage; une construction spéciale

(1) *Bulletin de la Société des Électriciens.*

de ce champ magnétique permet à cette plume d'agir au dehors sur un tambour, tout en assurant une répartition convenable des lignes de force, pour que les déviations restent proportionnelles dans toute l'étendue de la course. L'appareil ainsi réalisé présente une

Fig. 2.



forme tout à fait originale, comme on peut s'en rendre compte par l'examen des figures 1, 2 et 3 ⁽¹⁾.

» Le champ magnétique est créé entre deux cylindres de fer concentriques 1 et 2, portés respectivement par des pièces massives d'acier doux 3 et 4, 4, qui aboutissent au milieu et aux extrémités du noyau inducteur 5 d'un double électro-aimant. Ce noyau est excité par les deux bobines inductrices 6 montées en opposition de façon à déterminer un pôle conséquent entre elles; il y a ainsi deux circuits magnétiques qui se ferment respectivement autour de chaque bobine par la pièce 3, le cylindre 1, l'entrefer, le cylindre intérieur 2, la pièce massive 4 et le noyau 5.

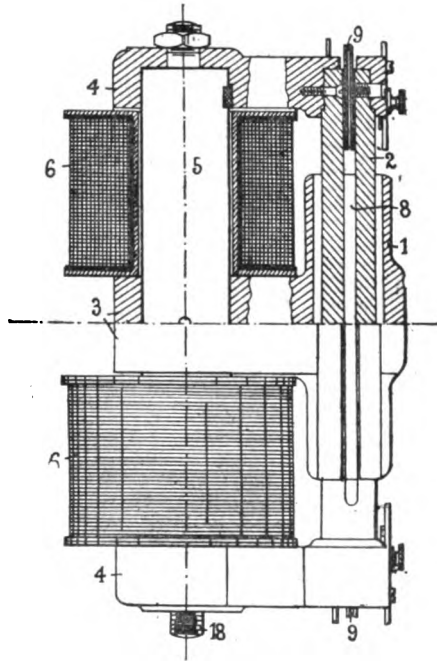
» Par ce procédé on obtient un champ simplement uniforme sur

(¹) Ces dessins ont été exécutés par M. Goudet, ingénieur électricien attaché au laboratoire de M. Blondel, et comportent quelques perfectionnements de détails qui ne figurent pas dans le premier modèle construit, qui est actuellement présenté à la Société.

une hauteur de 16 cm environ avec un entrefer de 4 mm environ, dans lequel se déplace la bobine induite 7.

» Celle-ci est enroulée sur une petite carcasse cylindrique en aluminium, qui sert en même temps d'amortisseur, et qui est suspendue, au moyen de deux croisillons parallèles, entre deux bandes de bronze ou d'argent 8 placées l'une au-dessus, l'autre au-dessous,

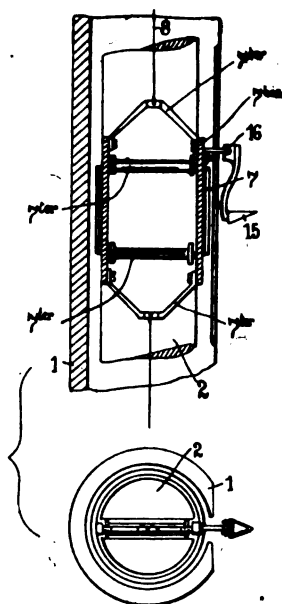
Fig. 3.



et qui viennent s'enrouler respectivement dans les gorges de deux tambours d'aluminium 9, 9 fixés aux pièces 4, 4 et qui tendent les bandes opposées au moyen de ressorts spiraux antagonistes 10; ceux-ci peuvent être tendus plus ou moins à l'aide d'une roue dentée 11 à laquelle l'extrémité extérieure du ressort spiral est fixée et sur laquelle agit un pignon 12 commandé par un bouton molleté 13. Chaque tambour, avec son ressort spiral et son engrenage de réglage, est monté dans une petite cage métallique 14 qui vient se fixer à la pièce d'acier 4; les axes des tambours sont pivotés dans des rubis. Pour permettre de loger les tambours, les bandes et les croisillons qui supportent l'équipage mobile, le cylindre 2 est muni, sur toute sa hauteur, d'une fente diamétrale

de 5 mm; une fente semblable est ménagée dans le cylindre extérieur en face de celle du cylindre intérieur pour permettre le passage de la plume 15 accrochée à l'équipage mobile. Cette plume a généralement la forme connue des plumes Richard, à godet triangulaire, et est suspendue, par une queue recourbée, à un goujon d'attache 16 autour duquel elle peut osciller dans le plan moyen

Fig. 4.



de la fente du cylindre 1; pour régler la pression de la plume sur le papier du tambour enregistreur 17, on n'a qu'à rapprocher plus ou moins le galvanomètre du tambour ou réciproquement; dans ce but, l'un ou l'autre peut être monté sur une base mobile. C'est le galvanomètre qui est mobile, par exemple, dans le cas représenté par la figure; à cet effet, le noyau 5 est terminé par un boulon qui traverse un épaulement venu de fonte avec la base générale de l'appareil. Il suffit de prendre à la main le cylindre 1, ou l'une des pièces 3 et 4, pour déterminer la rotation de l'électro autour de son axe et, par suite, le rapprochement de la plume contre le cylindre enregistreur; une butée, disposée en un point quelconque de l'appareil, arrête ce mouvement dans la position où le frottement de la

plume sur le papier placé sur le cylindre est juste suffisant pour un bon enregistrement.

» Les avantages de ce nouveau galvanomètre sont les suivants :

» 1° Grâce à la faible inertie des pièces en mouvement, à leur excellent pivotage et à la grande puissance des ressorts spiraux antagonistes, les frottements sont négligeables et le retour au zéro se fait rigoureusement et très rapidement, comme le montre, par exemple, la figure 7.

» 2° Les courbes d'établissement et de rupture du courant indiquent en même temps que l'amortissement est presque apériodique et donnent une mesure de la rapidité d'oscillation propre qui est très grande; la distance entre les deux zéros de la courbe correspond à 20 secondes environ et la durée de l'oscillation double amortie n'en est que la trentième partie, soit donc environ 0,7 seconde. Le champ magnétique rend les oscillations presque apériodiques, grâce aux courants de Foucault dans la carcasse d'aluminium. Dans certains cas, on peut rendre l'appareil rigoureusement apériodique, en shuntant l'équipage par une résistance extérieure.

» 3° Les déviations sont sensiblement symétriques des deux côtés du zéro de l'appareil et changent de signe avec le sens du courant; elles sont sensiblement proportionnelles à la valeur de celui-ci dans toute l'étendue de l'échelle, c'est-à-dire pour un déplacement d'environ 40 mm à 45 mm de chaque côté du zéro (1).

» 4° L'appareil permet d'enregistrer des déviations qui changent de sens, contrairement aux enregistreurs à fer doux du genre Hartmann et Braun. On peut d'ailleurs, pour les applications où l'on désire seulement enregistrer des courants toujours de même sens, construire l'appareil avec une seule bobine magnétisante.

» 5° La mise en prise de la plume sur le papier se fait de la manière la plus commode, ainsi qu'on l'a dit plus haut.

» Ce galvanomètre exige, il est vrai, l'emploi d'un électro-aimant, mais celui-ci peut être alimenté très facilement par une boîte d'un

(1) L'appareil présenté à la Société donne une déviation de 10 mm environ pour un courant de 1 milliampère; mais, en réduisant l'entrefer, on peut obtenir une sensibilité plus grande. La résistance de la bobine est de 2000 ohms environ.

ou deux accumulateurs, du type des batteries d'allumage pour automobiles, qui sont, comme on le sait, très portatives.

» Il résulte de ces propriétés que l'appareil peut être employé avantageusement dans des applications pour lesquelles l'emploi des coordonnées rectangulaires, sur les feuilles d'enregistrement, présente une nécessité ou un intérêt spécial. Par exemple, on peut étudier de cette manière les variations de courant sur une voiture de tramway, les courants de démarrage sur les appareils de levage ou tous engins à démarrage fréquent. Dans cette application, les coordonnées curvilignes employées généralement sont gênantes, surtout quand il s'agit de lire des calques des courbes qui ne portent pas le quadrillage spécial nécessaire; on lit toujours beaucoup plus facilement les courbes inscrites en coordonnées rectangulaires et le planimétrage s'en fait avec plus d'exactitude.

» Enfin, il est une application pour laquelle l'emploi des coordonnées rectangulaires présente encore un avantage plus grand, c'est l'inscription des courbes périodiques des courants alternatifs dont on va parler avec plus de détails, parce qu'elle est un des buts importants de ce galvanomètre.

II. — APPLICATIONS A L'INSCRIPTION STROBOGRAPHIQUE DES COURBES DES COURANTS ALTERNATIFS.

« L'inscription continue des courbes périodiques des courants alternatifs est réalisée, comme on le sait, au moyen de la méthode strobographique.

» Cette méthode, qui dérive de la méthode du contact instantané de M. Joubert et qui consiste à remplacer le tracé des points isolés par un tracé continu et automatique, a été imaginée et décrite pour la première fois en 1891 par M. Blondel (¹), qui la réalisait alors au moyen de l'enregistrement photographique. Ses imitateurs à l'étranger ont eu aussi recours à la photographie. Il y avait à cela deux motifs : 1° on ne connaissait pas à cette époque les galvanomètres industriels enregistreurs simples et rapides, tels que

(¹) A. BLONDEL, *Sur l'enregistrement des courbes périodiques de courant alternatif* (*La Lumière électrique*, août 1891).

MM. Arnoux, Carpentier, Meylan, Richard en ont construit depuis lors d'après le principe du galvanomètre d'Arsonval; 2° il était désirable, pour l'étude des phénomènes assez délicats auxquels la méthode strobographique était alors appliquée, d'employer des galvanomètres de grande sensibilité et d'oscillation propre rapide, et le galvanomètre d'Arsonval à miroir était le modèle le mieux approprié. C'est du reste pour le même motif que plus tard Franke, dans son appareil de laboratoire pour l'étude des courbes des courants alternatifs par tracé à la main, a adopté aussi le galvanomètre d'Arsonval.

» Mais, depuis lors, la question a changé d'aspect par l'introduction, dans la pratique industrielle, de l'ondographe de notre éminent collègue M. Hospitalier, qui a réalisé, pour la première fois, la strobographie au moyen d'un galvanomètre enregistreur industriel (type Meylan) inscrivant les déviations au moyen d'une plume à encre; par le fait même, la strobographie sortait du domaine des laboratoires pour entrer dans celui des usines, où les strobographes photographiques n'avaient guère pu pénétrer jusque-là. Dans ce nouveau domaine, on n'a pas besoin d'une précision bien considérable et il ne faut pas du reste l'espérer; tout ce que l'on peut souhaiter, c'est d'obtenir des courbes assez approchées pour permettre de juger la valeur d'une machine et, plus spécialement, d'étudier la forme de la courbe de force électromotrice des alternateurs fonctionnant en circuit ouvert ou fermé.

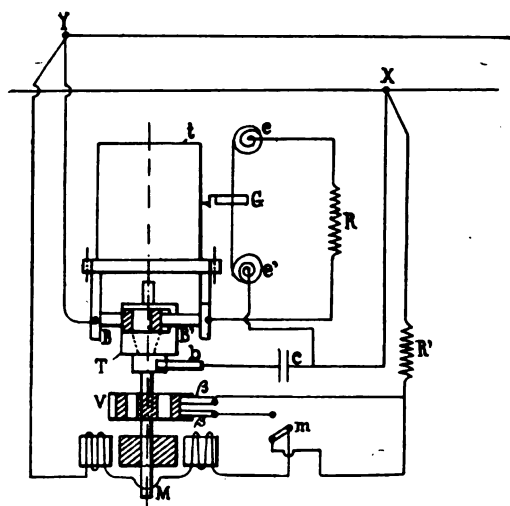
» Pour appliquer le nouveau galvanomètre à l'étude des courants alternatifs M. Blondel n'a eu qu'à transposer, dans le domaine de l'enregistrement stylographique, le principe de son enregistrement photographique de 1891, en conservant notamment sa méthode de la charge et de la décharge répétées d'un condensateur (1), et la solidarisation des balais du contact frottant avec le tambour enregistreur. Il a réalisé ainsi un appareil très ramassé et très simple dit *cyclographe*.

» La figure 5 représente le schéma des organes et circuits du cyclographe pour l'enregistrement de la courbe de la force électromotrice d'un réseau.

(1) Cette méthode de charge et de décharge périodiques du condensateur n'avait pas été décrite pour l'étude des courants alternatifs par M. Joubert.

» Le condensateur C est relié à l'une des bornes X du réseau ou de l'alternateur à étudier, et, par un balai *b*, à une série de contacts *c* et *c'* placés sur un cylindre isolant et qui viennent communiquer alternativement avec des balais B et B' reliés, l'un à la borne Y du réseau ou de l'alternateur, l'autre à l'une des entrées *e* du galvanomètre dont le cadre mobile G est seul représenté; l'autre entrée *e'*

Fig. 5.



est reliée à la borne X. Il en résulte que, pendant la rotation du tambour isolant T qui porte les contacts, le condensateur est alternativement chargé par la tension existant entre X et Y et déchargé dans le galvanomètre.

» Le mouvement du cylindre isolant est rendu synchrone, avec les courants à étudier, au moyen d'un petit moteur synchrone, représenté schématiquement en M, alimenté lui-même par une dérivation prise aux bornes X et Y.

» Dans ces conditions, si l'on suppose les balais fixes, et les contacts en nombre égal à celui des paires de pôles du moteur, le condensateur se trouve toujours chargé au même point de chaque période, et, comme les décharges dans le galvanomètre sont très rapprochées, celui-ci prend une déviation permanente qui indique la force électromotrice au moment de la fin de chaque contact.

» Si l'on rend tous les balais solidaires en les attachant par des

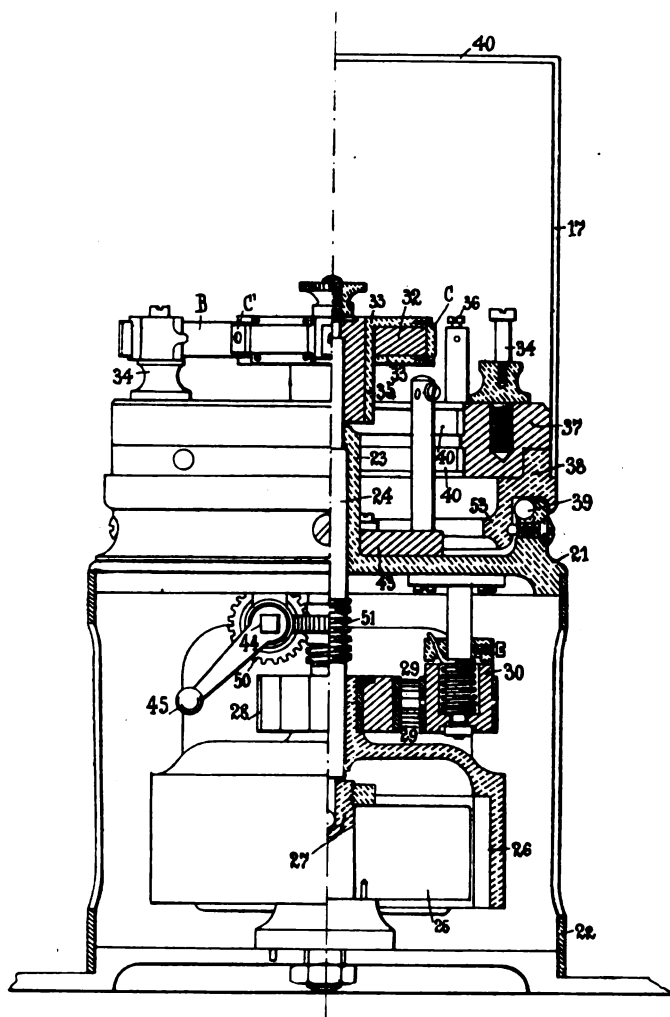
supports isolés au tambour enregistreur t , le long duquel se déplace la plume P du galvanomètre, on obtiendra, pour chaque position du tambour enregistreur, une déviation différente du galvanomètre, qui correspondra à la position de calage particulière des balais. Il suffit donc de faire tourner lentement, à la main par exemple, le tambour t pour obtenir l'inscription continue de la courbe représentative de la force électromotrice; si le moteur M a 6 pôles, le tambour recevra l'inscription de 3 périodes ou 6 alternances. Le mouvement du tambour t est indépendant de celui du moteur M , bien que les deux appareils soient montés dans le cas de la figure concentriquement l'un au-dessus de l'autre; et, dans la réalisation de l'appareil enregistreur, on a eu soin que le mouvement de commande du tambour t puisse être aussi produit éventuellement à la main, ou par un mouvement d'horlogerie indépendant, au moyen d'un simple système de débrayage.

» La figure 6 représente, avec plus de détails, le système enregistreur vu en coupe verticale : une plate-forme 21 supportée par un cylindre ajouré 22, qui porte le palier supérieur 23 de l'arbre 24 du moteur synchrone. Celui-ci, qui comporte 6 pôles formés de dents, excités par de petites bobines, est constitué, par exemple, par un stator fixe 25 et par un rotor mobile 26; on peut à volonté prendre le rotor intérieur ou extérieur; le stator porte les enroulements inducteurs (non représentés sur la figure). L'arbre 24 est pivoté intérieurement dans une crapaudine 27 formant partie d'un boulon qui fixe le moteur sur la base de l'appareil. Ce petit moteur est très puissant sous un petit volume, et ne donne pas d'oscillations de vitesse sensibles, ce qui est évidemment *essentiel* pour la bonne marche du cyclographe.

» L'arbre du moteur porte, à sa partie supérieure, le commutateur, qui ne diffère de celui représenté sur le schéma de la figure 5 que par des détails d'exécution. Les deux séries de contact C et C' sont fixées sur une même couronne de fibre 32, mais les contacts C sont prolongés de manière à être vissés sur deux pièces horizontales 33, 33, qui les mettent en communication entre eux et avec un petit cylindre métallique 35 sur lequel frotte le balai que nous avons appelé b sur le schéma. Les balais B et B' sont pivotés sur des supports 34 et tendus par des ressorts retenus par des chevilles 36

permettant de les tendre à volonté. Les supports 34 sont fixés dans une couronne de fibre 37 portée par une embase métallique mobile 38 sur laquelle s'emboîte à volonté le tambour 17 de l'enre-

Fig. 6.



gistreur, fermé, à sa partie supérieure, par un disque 40 qui maintient tout l'appareil commutateur à l'abri de la poussière. Cette pièce mobile 38, tournant sur des billes 39, est placée dans une gorge de l'embase fixe 21.

» Le courant est amené aux balais B et B' par des bagues 40,

40, fixées à l'intérieur de la couronne de fibre qui les isole, et sur lesquelles frottent des balais fixes, portés, ainsi que le balai *b*, par des supports fixés à la plate-forme 21 avec interposition d'une pièce isolante 43, et qui reçoivent les courants destinés aux balais B, B' et *b* au moyen de fils conducteurs traversant l'embase fixe par des ouvertures convenables.

» Le fonctionnement de l'interrupteur et du tambour se comprend aisément d'après le schéma de la figure 5. La seule modification à faire à celui-ci résulte du procédé d'amenée du courant aux balais B et B', grâce auquel ceux-ci continuent à être alimentés dans toutes leurs positions, tout en restant solidaires du déplacement du tambour enregistreur 17.

» La commande du mouvement du tambour et des balais est obtenue au moyen d'un arbre horizontal 44 muni d'un côté d'une manivelle et de l'autre d'un embrayage qui peut être réuni à l'un des mobiles d'un mouvement d'horlogerie 47, représenté simplement par sa boîte extérieure dans la figure 2.

» L'arbre horizontal 44 porte une vis sans fin qui engrène avec une roue dentée. Celle-ci est portée par un arbre vertical, qui traverse la plate-forme 21, et porte une autre roue dentée semblable qui engrène sur la couronne dentée 53, fixée à l'intérieur de l'embase mobile 38. Quand on tourne à la main la manivelle 45, on produit ainsi une rotation lente de cette embase 38 et du tambour enregistreur.

» D'autre part, l'arbre horizontal 44 porte une roue dentée 50, qui peut être commandée par une vis sans fin 51, placée sur l'arbre du moteur (1).

» L'arbre horizontal 44 peut avoir deux positions, suivant qu'il est poussé contre le mouvement d'horlogerie, ou retiré; une vis, qui pénètre dans des gorges ménagées à cet effet sur l'arbre, permet de le maintenir dans l'une ou l'autre des deux positions.

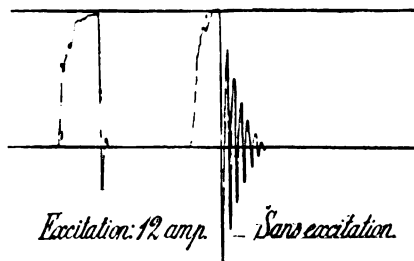
» En tirant la manivelle à soi, on embraye la roue 50 avec la vis 51; en poussant, on la débraye.

» On peut donc à volonté commander le mouvement du cylindre

(1) Les rapports d'engrenages sont tels que l'inscription d'une période est faite en 2000 périodes du courant et résulte par conséquent de 2000 points relevés. Un tour complet du tambour correspond à 6000 périodes.

soit à la main, soit par le mouvement d'horlogerie, soit par le moteur synchrone lui-même. Pour mettre en vitesse ce dernier, un commutateur tournant 28, formé d'une pièce isolante, sur laquelle sont disposées des touches métalliques en nombre égal à celui des pôles du moteur et sur laquelle frottent deux balais 29, 29 supportés par une pièce isolante 30 qui les appuie doucement à l'aide d'un ressort, est monté sur l'arbre même du moteur et permet d'interrompre

Fig. 7.



périodiquement le courant d'alimentation, comme l'indique le schéma de la figure 5.

» Le moteur atteint de lui-même la vitesse synchrone et l'on peut alors le brancher directement sur le réseau en abaissant la manette *m* de la figure 5.

» La manœuvre est complétée par un dispositif de relèvement des balais qui permet, au moyen d'une petite manette 31 qui n'est représentée que sur la figure 1, de soulever les balais une fois que le moteur est en marche synchrone.

» Au lieu de mouvement d'horlogerie, on peut d'ailleurs employer un petit moteur électrique quelconque, à vitesse réglable, de sorte que le même appareil permet d'utiliser le galvanomètre pour l'enregistrement de tous les phénomènes lents ou rapides que l'on peut désirer étudier dans la pratique industrielle, aussi bien qu'à l'étude des courbes des courants alternatifs.

» Dans un premier modèle que nous présentons à la Société, le moteur est placé à la partie supérieure, à l'intérieur du tambour enregistreur, et le contact mobile, avec ses balais, dans la base du cyclographe. Cette disposition est moins bonne que celle décrite, car la construction en est plus compliquée. Dans un modèle encore

antérieur, le contact sec avait été remplacé par un jet de mercure, alimenté par une petite turbine à mercure, placée dans le socle de l'appareil, et analogue à certains interrupteurs de bobines d'induction. Mais l'expérience a montré que ce genre de contact ne présente pas une supériorité pratique suffisante, sur le contact sec, pour motiver la complication qui en résulte et qui donne lieu, d'autre part, à d'assez grands inconvénients par suite de la présence nécessaire d'un isolant liquide, et de la difficulté qu'on éprouve, malgré ce dernier, à maintenir un bon isolement des différentes parties, par suite de la diffusion extrême des gouttelettes de mercure pulvérisé.

» Le cyclographe a, comme les appareils à inscription non photographique, l'avantage de ne pas exiger de chambre noire.

» En outre, les avantages spéciaux du cyclographe Blondel sur les appareils similaires sont :

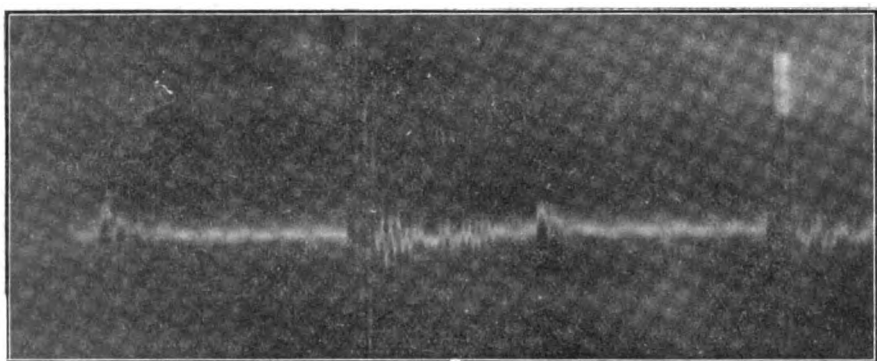
- » 1° La forme compacte;
- » 2° La marche absolument silencieuse;
- » 3° Le synchronisme exempt de toute oscillation de vitesse;
- » 4° L'absence de tous engrenages tournant à grande vitesse;
- » 5° La simplicité et la bonne protection du système de contacts frottants, facile à visiter et à entretenir;
- » 6° L'emploi de coordonnées rectangulaires et tous les autres avantages inhérents au galvanomètre Blondel-Ragonot, que nous avons mentionnés plus haut.

» L'emploi du cyclographe Blondel n'est pas limité d'ailleurs au galvanomètre spécial auquel il est appliqué actuellement, et peut être combiné avec l'application de tout autre galvanomètre à déviations verticales ou légèrement curvilignes, il peut être combiné également avec des galvanomètres très sensibles à miroir, et avec l'enregistrement photographique, en enroulant autour du tambour un papier sensible sur lequel on fait tomber le spot lumineux réduit à un point, et dont les déviations sont rendues verticales par un dispositif approprié. Cette dernière disposition peut permettre de reproduire les conditions de précision obtenues autrefois dans l'emploi de la méthode strobographique par M. Blondel au moyen du galvanomètre Deprez-d'Arsonval et qu'on est loin d'atteindre avec les galvanomètres enregistreurs à plume, par suite de leur moindre sensibilité.

» Cette question de l'exactitude des indications strobographiques est en effet très importante, comme l'a signalé autrefois M. Blondel (¹); il a montré que deux causes d'erreur peuvent vicier d'une façon importante les résultats obtenus : les oscillations de la charge du condensateur et la perturbation introduite par cet appareil dans les conditions de fonctionnement des machines étudiées.

» 1° *Charge et décharge du condensateur.* — La première condition à remplir c'est que le condensateur soit chargé complètement

Fig. 8.



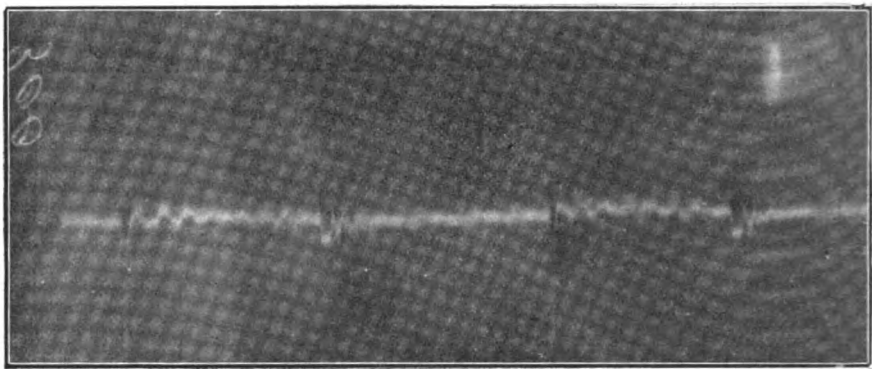
avant qu'on rompe sa communication avec les circuits étudiés, et qu'ensuite la décharge se fasse d'une manière complète.

» Pour vérifier ces conditions sur l'appareil actuel, nous avons relevé les courbes du courant de charge et de décharge du condensateur, au moyen d'un oscillographe Blondel mis en série avec lui et ces courbes indiquent d'une manière intéressante le fonctionnement même de l'appareil. La figure 8 reproduit par exemple l'oscillogramme obtenu au cours du fonctionnement sur courant alternatif, pour détermination d'une tension, celle même qui est inscrite dans la figure 10; naturellement l'amplitude de la charge du condensateur varie suivant le point de la courbe qu'on relève; elle n'a donc pas une valeur absolue, mais le phénomène reste le même qualitativement pour tous les points. Au moment où le condensateur se trouve brusquement branché sur le réseau, une vive oscillation se produit,

(¹) *La Lumière électrique*, 1891, *loc. cit.*

jusqu'à ce que la charge ait égalisé la tension du condensateur avec celle du réseau ; mais cette oscillation est très vite amortie, par suite de la résistance de circuit et probablement surtout du contact frottant. A partir de ce moment, il subsiste des oscillations dans la courbe, mais elles concordent simplement avec les dentelures de la courbe du secteur, plus ou moins amplifiées par le condensateur, comme on le dira plus loin. Vient ensuite la décharge qui a lieu

Fig. 9.



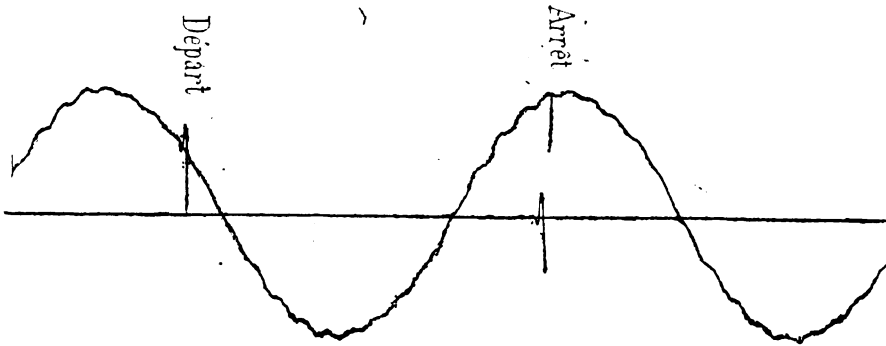
sous forme apériodique, avec quelques discontinuités produites par l'imperfection du contact.

» Ces courbes ont été obtenues non pas directement sur le secteur, dont la self-induction est sensiblement nulle, mais en ajoutant une self-induction d'environ 0,0085 henry et de 3,2 ohms, afin de reproduire des conditions plus défavorables, telles qu'on les aurait par exemple en étudiant un alternateur présentant ces constantes. Cet alternateur fictif donnerait un courant de court-circuit d'environ 40 ampères. Ce serait donc une machine d'au plus 5 kilowatts sous 120 volts, c'est-à-dire très petite. C'est grâce à la présence de cette self-induction que les oscillations sont visibles sur le cliché ; quand on se branche directement sur le réseau, elles se confondent presque en un trait unique.

» En ajoutant une résistance convenable toujours en série avec le condensateur (par exemple 220 ohms), on peut amortir ces oscillations beaucoup plus vite, comme le montre la figure 9, mais sans qu'il en résulte un avantage notable pour la charge et la décharge ;

on remarquera que cette résistance n'empêche pas les oscillations permanentes provenant des dentelures de la courbe du secteur, mais elle en modifie le caractère. On obtient des courbes analogues

Fig. 10.

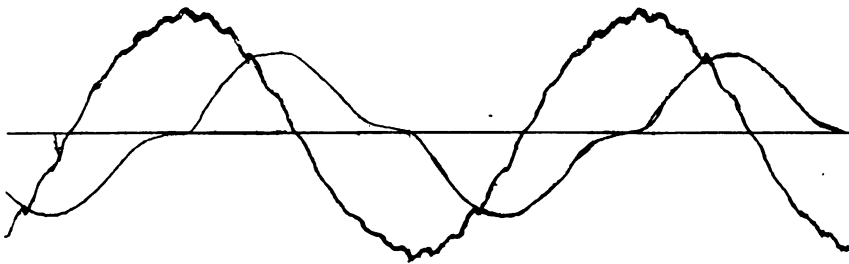


dans le montage de l'appareil sur shunt pour enregistrer des ampères.

» 2° *Perturbations apportées par le condensateur dans le régime.*

— Le condensateur, entre le moment où il est complètement chargé et où il commence à être déchargé, se trouve exactement dans les mêmes conditions que s'il était branché constamment sur le courant alternatif, puisque l'équation de son régime se réduit aux

Fig. 11.



termes périodiques après disparition des termes exponentiels. Or, ce condensateur présente une capacité qui est loin d'être négligeable, quand on doit étudier un petit alternateur ou un appareil présentant une forte self-induction. Certains harmoniques peuvent alors se trouver amplifiés au détriment des autres, et, par suite, la

forme exacte des dentelures de la courbe est modifiée d'une manière plus ou moins notable.

» Il en est de même *a fortiori* dans le cas où l'appareil est employé comme ampèregraphe, car alors le condensateur est beaucoup plus important (de 15 à 30 microfarads), et le shunt vient à son tour modifier, par sa résistance, le régime du circuit auquel on l'applique. Une vérification de la précision des harmoniques montre en général qu'on ne peut pas compter sur une grande précision pour les harmoniques.

» En définitive, le cyclographe, tout comme l'ondographe, présente les inconvénients inhérents à l'emploi d'un galvanomètre de faible sensibilité, à savoir :

» 1° Nécessité d'employer des condensateurs volumineux et dispendieux, à moins qu'on ne se borne à l'étude des forces électromotrices ;

» 2° Nécessité d'employer des shunts qui modifient le régime quand on veut mesurer des courants ;

» 3° Introduction de causes d'erreur, souvent très importantes, dans la reproduction des harmoniques, par la présence des condensateurs ainsi employés ;

» 4° Imperfections du tracé résultant des oscillations de vitesse inévitables des machines génératrices, oscillations qui se trouvent amplifiées par le fait que les déviations du galvanomètre croissent proportionnellement au produit de la tension par la fréquence. Encore ne parlons-nous pas des autres inconvénients fondamentaux qui sont l'impossibilité d'étudier un phénomène non périodique, quand on ne peut pas le reproduire périodiquement, et tous les phénomènes sont soumis à des variations incontrôlables d'une période à l'autre ; nous mentionnons aussi, pour mémoire, les frottements des pivots et plumes, parce qu'ils n'existent pour ainsi dire pas dans le galvanomètre présenté.

» Plusieurs de ces inconvénients peuvent être beaucoup diminués par l'emploi d'un galvanomètre plus sensible, et par l'inscription photographique, comme on l'a dit plus haut ; mais on est bien obligé d'avouer que jamais un cyclographe ni un ondographe quelconque ne pourra donner les mêmes résultats sûrs et complets qu'un oscillographe. Le seul avantage, c'est que le maniement en

est plus facile et que l'inscription par la plume présente, pour beaucoup de personnes, une supériorité sur l'enregistrement photographique (1). La présentation de ces appareils n'a donc pas pour but de faire croire à un retour en arrière, vers une méthode de second ordre, mais seulement de montrer qu'on peut réaliser des progrès dans la strobographie, sans cependant que celle-ci puisse lutter avantageusement contre l'oscillographie. »

M. le PRÉSIDENT remercie M. Boutin pour la présentation d'un appareil destiné certainement à rendre service à l'industrie électrique.

La séance est levée à 9^h 40^m du soir.

(1) Une des difficultés des appareils de ce genre, c'est que les courbes de plusieurs enregistrements successifs, sont rarement superposables, soit par des variations du régime électrique, soit par suite des oscillations de vitesse du moteur synchrone ; ces difficultés se trouvent éliminées avec le cyclographe, si l'on a soin d'enregistrer au moins trois courbes successives ; le trait devient empâté, et la forme moyenne s'accuse beaucoup plus nettement. On en voit un exemple dans le tracé de la figure 10 (réduit en demi-grandeur) qui représente la courbe de tension du Secteur de l'Ouest parisien Lumière à Levallois-Perret. On remarquera les petits crochets produits par le galvanomètre au départ et au retour au zéro, qui montrent la liberté des oscillations et la parfaite superposition des zéros.

INFORMATIONS.

Le cours public de Photographie, en vingt leçons, confié à M. Ernest Cousin par la Société française de Photographie, se rouvrira, pour la 12^e année, le mercredi 7 novembre 1906, à 9 heures du soir, pour être continué les mercredis suivants, à la même heure, dans l'hôtel de la Société, 51, rue de Clichy, à Paris. Les dames sont admises.

A la suite de la Communication de M. Devaux, insérée dans le *Bulletin* de juin 1906, des réclamations de priorité s'étant élevées, le Bureau croit devoir rappeler que la Société n'est responsable, en aucune manière, des Mémoires publiés au *Bulletin*, ni solidaire des opinions émises par ses membres dans les discussions. En conséquence, la Société s'interdit de publier les réclamations de priorité susceptibles de toucher à des intérêts matériels, ces questions n'étant pas de son ressort.

BIBLIOGRAPHIE.

Construction des induits à courant continu. Partie mécanique, par E.-J. BRUNSWICK et M. ALIAMET (*Encyclopédie scientifique des Aide-Mémoire*). Paris, Gauthier-Villars, quai des Grands-Augustins, 55, et Masson et C^{ie}, boulevard Saint-Germain, 120, éditeurs.

Ce Volume fait suite aux *Enroulements d'induits à courant continu* et au *Manuel du bobinier*, des mêmes auteurs, parus précédemment dans l'*Encyclopédie des Aide-Mémoire*.

Il traite de la construction mécanique de l'induit : noyau de tôles, croisillon et collecteur.

Les auteurs ont eu l'excellente idée de faire précéder l'étude proprement dite de la construction des éléments de l'induit par un Chapitre rappelant les principes fondamentaux et les formules usuelles de la résistance des matériaux. Ce qui distingue, en particulier, ce Chapitre, c'est le soin apporté au choix systématique des notations symboliques et des définitions méthodiques des diverses grandeurs envisagées, basé sur le respect des décisions adoptées ou des règles recommandées par les différents Congrès qui ont réglementé l'emploi du système C.G.S.

Quant à l'objet principal du Volume, les auteurs, pour se plier au cadre de l'édition, se sont astreints à n'indiquer que les procédés généraux dont le constructeur doit s'inspirer lorsqu'il étudie un induit de machine à courant continu. Les indications données suffisent pour développer tous les cas susceptibles d'être rencontrés en pratique et, comme tel, la lecture et l'étude de ce petit Volume ne peuvent qu'être intéressants pour tous les praticiens.

La Physique moderne, son évolution, par Lucien POINCARÉ, Inspecteur général de l'Instruction publique. Paris, Ernest Flammarion, rue Racine, 26, éditeur.

Depuis moins de vingt ans, les théories physiques se sont succédé si nombreuses, et à propos des matières les plus diverses, que les esprits passionnés par la philosophie scientifique hésitent parfois à discerner les faits et les théories acquises, de ceux que les progrès de la Science ont amené à présenter sous un nouveau jour.

M. L. Poincaré a pensé qu'un Livre, qui ferait connaître, d'une façon précise, les résultats si remarquables venus enrichir depuis une dizaine d'années le domaine de la Physique, constituerait une œuvre utile. C'est la tâche qu'il a entreprise, en évitant tout appareil mathématique et en ne donnant de détails techniques que juste en quantité voulue pour appuyer les démonstrations.

Le Livre qu'il a écrit pour la *Bibliothèque de Philosophie scientifique* intéresse les philosophes comme les savants. Le lecteur y trouvera un guide sûr lui exposant l'évo-

lution des théories et les transformations successives qui les ont conduites à leur état actuel; il sera mis ainsi au courant des travaux les plus récents sur les propriétés de la matière et les conceptions les plus modernes touchant sa constitution.

L'Ouvrage est divisé en onze Chapitres dont tous les titres seraient à citer: nous nous contenterons, pour attirer l'attention de ceux que ces hautes questions intéressent, de signaler les Chapitres relatifs à l'évolution de la Physique, à la Métrologie et aux mesures, aux principes généraux de la Physique, aux états de la matière, à l'éther et à l'avenir de la Physique; l'auteur examine également les questions si intéressantes des solutions et de la dissociation, de la Télégraphie sans fil, des ions et des corps radioactifs.

Le souci que M. L. Poincaré a apporté au choix des expériences sur lesquelles il s'appuie et à laisser de côté les questions encore trop confuses, l'a conduit à nous donner une œuvre vraiment forte et l'on ne saurait trop le remercier pour ce travail et pour la conclusion éloquentes et si riche d'espoir qui le termine :

« Il n'est pas de limites pour le progrès; le champ de nos investigations n'a pas de frontières; l'évolution se continuera avec une force invincible, ce que nous appelons aujourd'hui *l'inconnaisable* reculera de plus en plus loin devant la Science qui, jamais, ne s'arrêtera dans sa marche en avant; ainsi la Physique satisfera de mieux en mieux l'esprit en lui fournissant de nouvelles interprétations des phénomènes, mais elle accomplira, pour la société tout entière, une œuvre plus précieuse encore, en contribuant tous les jours, par les améliorations qu'elle suggère, à rendre la vie plus facile et plus douce et en procurant à l'homme des armes contre les forces hostiles de la nature. »

L'Électricité industrielle mise à la portée de l'ouvrier, par E. ROSENBERG.

Le présent Ouvrage est un bon manuel écrit spécialement pour les ouvriers électriciens, comme le titre l'indique; il a de plus été, en quelque sorte, pratiqué par l'auteur avant d'être publié, car il est né d'une série de conférences faites aux ouvriers et employés d'une importante usine.

Le but de l'auteur a été de faciliter au public qu'il visait la connaissance des lois de l'Électrotechnique et du fonctionnement des machines et appareils.

Le Volume contient, en conséquence, toutes les matières que le sujet implique.

De nombreuses figures, dont le traducteur a francisé une bonne partie, illustrent cet Ouvrage pratique et utile.

La Houille verte (*Mise en valeur des moyennes et basses chutes d'eau en France*), par H. BRESSON. 1 volume, 278 pages, 123 figures, 1906. Paris, Dunod et Pinat, éditeurs.

Cet Ouvrage, qui n'est pas écrit par un spécialiste, rendra sans doute le grand service d'attirer l'attention sur l'utilisation des petites chutes trop délaissées depuis quelque temps.

Les statistiques, cartes et diagrammes de l'auteur sont des plus intéressants et très encourageants pour l'industrie électrique comme pour les propriétaires de chutes.

Dans sept départements de la région normande (Orne, Eure-et-Loir, Sarthe, Mayenne, Maine-et-Loire, Manche, Calvados) l'auteur indique une puissance disponible de 92 000 chx sur lesquels environ 20 pour 100 auraient été utilisés en 1900.

On voit combien il reste à faire pour mettre en valeur toute cette énergie perdue et quelles ressources pourraient en tirer l'Agriculture et l'Industrie.

Aussi, malgré un certain nombre d'hérésies didactiques (la force, le travail et la puissance sont confondus bien souvent), nous recommanderons vivement la lecture de cet Ouvrage et nous dirons, comme l'auteur, qu'il est d'un Français bien intentionné.

La mécanique des phénomènes fondée sur les analogies, par M. PÉTROVITCH.
1 vol. in-8, collection *Scientia*.

Comme le fait remarquer l'auteur dans son introduction « il n'est pas rare qu'un phénomène rappelle, par certaines particularités de son allure, un autre phénomène n'ayant avec lui aucun rapport concret ». On dit alors que ces phénomènes présentent une ou des *analogies*.

M. Pérovitch, considérant l'identité des rôles joués par certains éléments dans des phénomènes analogues, s'est efforcé de schématiser ces rôles dans le but de schématiser également les phénomènes. Tel est l'objet de son travail en grande partie mathématique. Quant au but poursuivi par l'auteur, il consiste à montrer qu'on peut, en suivant ses idées, établir des théories de phénomènes, théories qui, dans bien des cas, suggéreront des recherches expérimentales ayant de sérieuses chances de conduire à des résultats intéressants. En résumé, il substitue un guide scientifique au hasard qui préside si souvent aux découvertes.

Analyse des métaux par électrolyse, par MM. A. HOLLARD et L. BERTIAUX.
1 vol. in-8°. Paris, Dunod et Pinat, éditeurs, 1906.

Séparer et doser les métaux existant dans un mélange de sels, au moyen des procédés électrolytiques, est un problème du plus haut intérêt, par suite de la simplicité des méthodes et à cause de la rapidité des opérations.

Excepté pour le dosage de quelques métaux, l'analyse électrolytique a été jusqu'ici peu employée. Cela tient à un défaut d'étude de la question et c'est ce défaut que les auteurs ont voulu supprimer.

Ils sont arrivés à pouvoir déposer sur des électrodes, dans un grand nombre de cas, des quantités illimitées de métal malgré la présence d'autres corps, éléments ajoutés ou impuretés préexistantes.

Les principaux métaux que l'on peut ainsi séparer et doser sont : l'aluminium, l'antimoine, l'argent, l'arsenic, le bismuth, le cadmium, le cobalt, le cuivre, l'étain, le fer, le manganèse, le nickel, l'or, le platine, le plomb, le zinc, etc.

On trouvera également dans ce volume, exposée pour la première fois d'une façon complète, une théorie de l'analyse électrolytique. Cette théorie, comme on peut s'y attendre, d'après les travaux si appréciés de M. Hollard, repose sur l'étude des ions.

La réglementation du travail dans les établissements industriels, par
L. GAILLET, Inspecteur du travail dans l'industrie. Petit in-8°. Paris,
Gauthier-Villars.

Cette plaquette, faisant suite à un Volume du même auteur relatif à la *Législation des accidents du travail*, est intéressante à signaler ; elle constitue un recueil utile à consulter, dans bien des circonstances, par les industriels. A ce titre elle se recommande tout autant aux constructeurs électriciens qu'à ceux des autres catégories.

L'énoncé du titre suffit à définir l'objet de la publication, sans qu'il soit besoin d'insister sur son utilité.

Etat actuel des Industries électriques. Conférences faites sous les auspices de la Société française de Physique et de la Société d'encouragement pour l'Industrie nationale. Vol. in-8°. Paris, Gauthier-Villars.

La valeur de cette publication ressort sans plus de la liste des conférenciers et des sujets choisis par ceux-ci :

Sur les tendances et les recherches actuelles de l'Electrotechnique, par PAUL JANET.

Les progrès récents de l'Electrochimie, par CHAUMAT.

Les principes généraux dans la construction des dynamos à courant continu, par R.-V. PICOU.

Les moteurs électriques dans l'industrie, par A. HILLAIRET.

Les principes généraux dans la construction des alternateurs, par P. BOUCHEROT.

Les progrès récents de l'éclairage électrique, par P. WEISS.

État actuel de la Téléphonie, par G. DE LA TOUANNE.

Sur cette énumération de maîtres en l'art de présenter leurs sujets il est superflu d'ajouter un éloge quelconque.

Disons que le but poursuivi par la Société française de Physique, qui organisa ces conférences, a été pleinement réalisé. Une vue magistrale d'ensemble sur l'état des industries électriques ressort bien à la lecture de ce Volume, depuis les tendances exposées par M. Janet, jusqu'aux moyens de réalisation détaillés par les autres conférenciers, en une élégance de forme qui ne le cède en rien à la précision de l'analyse.

En parcourant ce recueil et en songeant à l'état de l'Électrotechnique d'il y a vingt ans, on juge des immenses progrès si rapidement réalisés. Mais cette réflexion est laissée au soin de chacun, car les conférenciers ont eu le grand soin de ne pas égarer leurs auditeurs, et leurs lecteurs d'aujourd'hui, en des développements historiques superflus, ce dont il y a lieu de les féliciter vivement. A noter toutefois l'abondante et précieuse documentation, par de nombreux renvois, qui accompagne le sujet : *Les moteurs électriques dans l'industrie*, traité par M. Hillairet.

Mais tout serait à citer dans ce recueil qui fait le plus grand honneur aux Sociétés patronnesses ; le meilleur conseil, en cette circonstance, est de recommander à chacun la lecture d'un vade-mecum qui doit figurer dans toute bibliothèque sérieuse et constitue une des plus intéressantes et utiles publications de notre époque.

LISTE DES OUVRAGES

OFFERTS A LA SOCIÉTÉ INTERNATIONALE DES ÉLECTRICIENS.

(Suite.)

La Bibliothèque est ouverte aux Membres de la Société, tous les jours
de 2 heures à 5 heures, excepté les dimanches et jours de fêtes,
12, rue de Staël.

France.

- Carbone (le) et son industrie*, par Jean ESCARD. Paris, Dunod et E. Pinat, 1906 ; 1 vol. grand in-8 broché. (*Don de l'auteur.*)
- Catalogue des livres composant la bibliothèque de l'École nationale des Ponts et Chaussées. Supplément 1895-1905*. Paris, Imp. nationale, 1905 ; 1 vol. in-8 broché. (*Don du Ministère de l'Instruction publique.*)
- Contremaitre (le) mécanicien*, par JOHANNY LOMBARD et JULIEN CAEN. Paris, H. Dunod et E. Pinat, 1906 ; 1 vol. in-8 broché. (*Don des éditeurs.*)
- Électricité (l') à l'Exposition universelle et internationale de Liège*, 1905, par J.-A. MONTPELLIER. Avec une introduction par Eug. SARTIAUX. Paris, H. Dunod et E. Pinat, 1906 ; 1 vol. grand in-8 broché. (*Don des éditeurs.*)
- État actuel des industries électriques*. Conférences faites sous les auspices de la Société française de Physique et de la Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale. Paris, Gauthier-Villars, 1906 ; 1 vol. grand in-8 broché. (*Don de l'éditeur.*)
- Étude de la résonance des systèmes d'antennes dans la télégraphie sans fil*, par Camille TISSOT. Paris, Gauthier-Villars, 1906 ; 1 vol. in-8 broché. (*Don de l'éditeur.*)
- Manuel pratique du monteur électricien*, par J. LAFFARGUE, 9^e édition, Paris, Bernard Tignol, [s. d.], 1906 ; 1 vol. in-16, relié toile souple. (*Don de l'auteur.*)
- Ozone (L')*, par Emile GUARINI. Paris, H. Dunod et E. Pinat, 1906 ; 1 brochure in-8. (*Don des éditeurs.*)
- Piles (Les) sèches et leurs applications*, par A. BERTHIER. 2^e édition, revue et augmentée. Paris, H. Desforges, 1906 ; 1 vol. in-16 broché. (*Don de l'éditeur.*)

- Réglementation (La) du travail dans les établissements industriels*, par Louis GRILLET. Paris, Gauthier-Villars, Masson et C^e, [s. d.], 1906 ; 1 vol. in-16 broché (*Encyclopédie des Aide-Mémoire.*) (*Don de M. Gauthier-Villars.*)
- Répertoire des Industries Gaz et Électricité*, par Maurice GERMAIN. Édition 1906-1907. Paris, Librairie Jeanmaire, 1906 ; 1 vol. in-16 relié toile. (*Don de l'auteur.*)
- Télégraphie (La) sans fil et la Télémécanique à la portée de tout le monde*, par E. MONIER. Préface du Dr E. BRANLY. Paris, H. Dunod et E. Pinat ; 1 vol. in-16 broché. (*Don de l'auteur.*)
- Théorie et calcul des lignes à courants alternatifs*, par G. ROESSLER. Traduit de l'allemand par E. STEINMANN. Paris, Ch. Béranger, 1907 ; 1 vol. in-8 relié toile. (*Don de l'éditeur.*)

Étranger.

- De Microchemie*. Rede uitgesproken... aan de Technische Hoogeschool te Delft, par P. D. C. KLEY. Rotterdam, M. WYT et ZONEN, 1905 ; 1 brochure in-8. (*Don de l'École technique de Delft.*)
- Elektron, der erste Grundstoff*, par J.-R. RYDBERG. Lund et Berlin, W. Junk, 1 brochure in-8. (*Don de l'éditeur.*)
- Étude sur la différence de potentiel de l'arc mercure-platine*, par Th. ROMILLY. (*Université de Genève. Laboratoire de Physique, 1^{re} série, 12^e fascicule.*) Genève, Soc. générale d'Imprimerie, 1906 ; 1 brochure in-8. (*Don de M. Ch.-Eug. Guye.*)
- Experimental-Untersuchung über die Möglichkeit einer Doppeltelephonie mittels unterbrochener Klänge*, par J.-W. GILTAY. Amsterdam, J. Muller, 1906 ; 1 brochure in-8. (*Don de l'auteur.*)
- Het ontstaan en verdwijnen van waterstof en methaan*, par N.-L. SÖHNGEN. Delft, J. Vis Jr. 1906 ; 1 vol. in-8 broché. (*Don de l'École technique de Delft.*)
- Manuel du répertoire bibliographique universel*. Organisation, état des travaux, règles, classifications. Bruxelles, Institut international de Bibliographie, 1905 ; 1 vol. grand in-8 relié toile. (*Don du Général Sebert.*)
- Physikalischen (Die) Institute der Universität Göttingen*. Leipzig et Berlin, B.-G. Teubner, 1906 ; 1 vol. grand in-4 broché. (*Don de la Göttingen Vereinigung zur Förderung der angewandten Physik und Mathematik.*)



BULLETIN
DE LA
SOCIÉTÉ INTERNATIONALE
DES
ÉLECTRICIENS.

SOMMAIRE.

Admissions, p. 446. — Sur les moteurs à explosion et à combustion (**A. Bochet**), p. 449. —
Télégraphe rapide, système Pollak-Virag (**M. D. Korda**), p. 465. — *Addenda* à la Com-
munication de **M. Boutin**, p. 484.

BIBLIOGRAPHIE, p. 485.

OUVRAGES OFFERTS, p. 487.

TABLE ALPHABÉTIQUE DES MATIÈRES CONTENUES DANS LE TOME VI (2^e SÉRIE), p. 489.

TABLE ALPHABÉTIQUE DES AUTEURS CITÉS DANS LE TOME VI (2^e SÉRIE), p. 493.

COMPTE RENDU

DE LA
RÉUNION ORDINAIRE MENSUELLE

du mercredi 5 décembre 1906 (1) (2).

PRÉSIDENCE DE **M. MAURICE LEBLANC**.

La séance est ouverte à 8^h40^m du soir.

Le procès-verbal de la dernière Réunion mensuelle est adopté.

(1) La Société n'est pas solidaire des opinions émises par ses membres dans les discussions, ni responsable des Notes ou Mémoires publiés dans le *Bulletin*.

(2) Cette Réunion a été tenue exceptionnellement dans la salle de la Société des Ingénieurs civils.

Il est donné connaissance des Ouvrages offerts à la Société (voir p. 485) et des demandes d'admission suivantes :

MM. .

Association des propriétaires d'appareils à vapeur de la Somme, de l'Aisne et de l'Oise (*service électrique*), 41, rue du Four, à Amiens. — Présentée par MM. de Marchena et Rechniewski.

Boutan (Auguste), Ingénieur des Arts et Manufactures, Administrateur délégué de la *Compagnie du gaz de Lyon*, 3, quai des Célestins, à Lyon. — Présenté par MM. Brylinski et Picou.

Chabert (François-Maximilien), Ingénieur chez *M. Ritter*, Ingénieur Conseil, 11, Kartausgasse, à Bâle. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.

Drouin (Félix-Honoré), Ingénieur en chef de la *Compagnie générale d'Électricité*, 1 bis, avenue de Longchamp, à Boulogne-sur-Seine. — Présenté par MM. Brylinski et E. Fontaine.

Reiss (Jean), Ingénieur associé de la *Maison Belliol et Reiss*, 30, rue des Bons-Enfants, à Paris. — Présenté par MM. Mazen et E. Sartiaux.

Vaquer (Paul-Léon), Ingénieur, Sous-Chef des ateliers de la *Compagnie du Métropolitain* de Paris, 33, rue Taine, à Paris. — Présenté par MM. Brune et Patot.

Ces candidats sont élus membres titulaires de la Société internationale des Électriciens.

M. le PRÉSIDENT fait part du décès de M. *Huet*, inspecteur général des Ponts et Chaussées, ancien directeur administratif des travaux de la Ville de Paris, et de M. *Ch. Jeantaud*; il ajoute :

« Notre collègue M. Jeantaud fut choisi comme collaborateur, au sortir de l'École des Arts et Métiers, par le général Morin, avec qui il fit des expériences célèbres, sur la traction des véhicules sur route. Il se consacra ensuite à l'industrie de la carrosserie, où il ne tarda pas à acquérir la réputation d'un véritable artiste, jointe à celle d'un ingénieur et d'un mécanicien de premier ordre. En dernier lieu, il s'occupa particulièrement des automobiles électriques et créa plusieurs types originaux, en particulier un cab qui fut très remarqué.

» Nous adressons l'expression de nos regrets et nos sincères compliments de condoléance aux familles de nos deux regrettés membres fondateurs. »

M. le PRÉSIDENT annonce que le Bureau a organisé, pour les membres de la Société, des visites au Salon de l'Automobile. Ces

visites auront lieu le lundi 17 et le mercredi 19 décembre, à 10^h du matin, au Grand Palais et à l'annexe des Invalides, sous la direction de MM. R. Arnoux, Gasnier, de Valbreuze et A. Bochet. En outre, les membres qui en feront la demande recevront des cartes d'entrée que le Bureau a pu obtenir grâce à l'obligeante intervention de l'un des anciens présidents de la Société.

Enfin, M. le PRÉSIDENT informe la Réunion que, M. Guillaume étant empêché par une indisposition de prendre la parole à la séance de ce jour, M. A. Bochet a bien voulu se charger de présenter une communication sur les moteurs à explosion et à combustion, comme préface à la visite qu'il dirigera au Salon.

L'ordre du jour appelle les communications techniques.

LES MOTEURS A EXPLOSION ET A COMBUSTION. LES GAZOGÈNES.

M. BOCHET. — « Les moteurs à explosion et à combustion ont pris un très grand développement justifié par leurs qualités remarquables.

» Au point de vue de l'utilisation de l'énergie, ces machines surpassent, à l'heure actuelle, tous les autres moteurs.

» En effet, une bonne machine à vapeur exige 1 kg de charbon par cheval-vapeur (1). Le kilogramme de charbon donnant 8000 calories, le rendement thermique de cette machine est donc de

$$\frac{75 \times 3600}{425 \times 8000} = 0,0715.$$

» Un moteur à gaz fonctionnant avec du gaz d'éclairage fournit le cheval-heure avec 0,5 m³ de gaz et ce gaz donnant 5600 calories par mètre cube, le rendement thermique du moteur à gaz est de

$$\frac{75 \times 3600}{425 \times 2800} = 0,226.$$

» Enfin le moteur à combustion, système Diesel, fournit couramment le cheval-heure avec une dépense de 170 g de combustible liquide, donnant 10000 calories par kilogramme (pétrole, huile de schiste, etc.). Le rendement thermique de ce moteur atteint donc

$$\frac{75 \times 3600}{425 \times 1700} = 0,372.$$

» Si l'on tient compte, en outre, de ce que le moteur à explosion a permis de réaliser la machine la plus légère par rapport à la puissance fournie, du fonctionnement entièrement automatique de cette machine, de la sécurité et de la souplesse que les constructeurs ont réussi à lui donner, sa fortune se conçoit aisément.

» La disposition bien connue de ce moteur consiste générale-

(1) La persistance regrettable de l'usage du cheval-vapeur nous oblige à employer cette unité pour permettre les comparaisons utiles.

ment en un cylindre fermé seulement à l'une de ses extrémités et dans lequel se déplace le piston formant glissière et accouplé directement à la bielle qui entraîne l'arbre de couche.

» Cette machine peut fonctionner de diverses manières.

» 1° Comme dans la première machine de Lenoir, le piston peut aspirer, pendant une partie de sa course, une certaine quantité d'un mélange détonant. L'allumage se produit dès la fin de l'aspiration alors que le mélange se trouve sensiblement à la pression atmosphérique. L'explosion, puis la détente consécutive agissent sur le piston pour le chasser en avant. Une explosion se produit ainsi à chaque tour de la machine et un volant emmagasine la puissance fournie pendant une fraction de la course du piston pour assurer la marche régulière du moteur. La machine de Lenoir était à double effet.

» 2° Un autre procédé consiste à comprimer le mélange explosif avant l'explosion.

» Dans le cycle à quatre temps, les choses se passent comme suit :

» Le mélange détonant est aspiré durant une première course du piston. Ce dernier comprime le mélange en revenant en sens inverse. Lorsqu'il arrive à fin de course, l'allumage se produit, en sorte que l'explosion et la détente chassent le piston. Dès son retour, les gaz de la combustion sont expulsés au dehors. Sur les quatre courses du piston, une seule se trouve motrice et la régularité d'allure de la machine est encore assurée grâce à un volant d'inertie suffisante.

» 3° Enfin, la machine fonctionnant à quatre temps peut aspirer simplement le comburant, l'air atmosphérique, dans sa première course, puis comprimer cet air dans lequel vient brûler progressivement le combustible pendant la première période de la détente.

» Il est facile de se rendre compte des propriétés de ces divers modes d'utilisation de la machine en recourant aux diagrammes entropiques, comme l'a fait M. Boulvin.

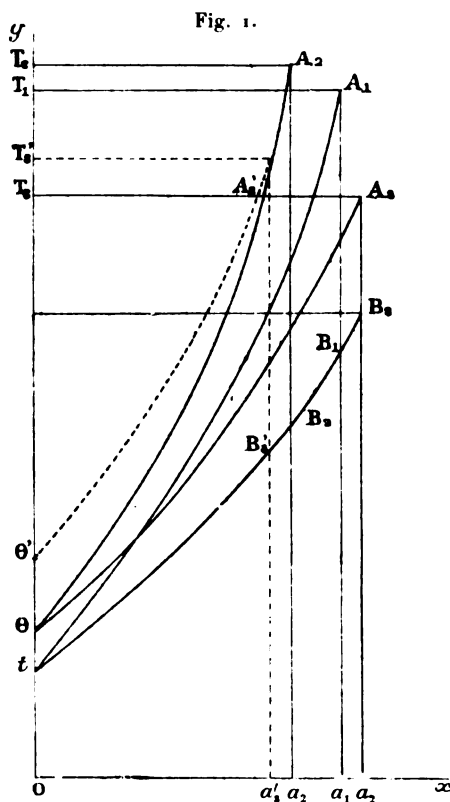
» Sur les diagrammes de la figure 1, les entropies $\int \frac{dQ}{T}$ sont portées en abscisses et les températures en ordonnées.

» Les quatre diagrammes tracés se rapportent tous au même

pois d'un mélange combustible de composition identique, et la combustion ainsi que la détente sont supposées également complètes.

» Nous allons examiner les résultats obtenus :

» 1° Par une explosion sans compression ;



» 2° Par une explosion avec compression ;

» 3° En conservant la même compression et en provoquant la combustion sous pression constante.

» 1° En partant d'une température ambiante t , la courbe A, représente l'explosion sans compression, sous volume constant.

» Cette explosion est suivie d'une détente que nous pourrions admettre, sans inconvénient pour notre exposé, comme adiabatique.

» Cette détente sera ainsi représentée sur le diagramme par une parallèle à l'axe des Y, A, a_1 . La surface otA, a_1 est proportionnelle

à la quantité de chaleur fournie par la combustion. En traçant, du point ι , une courbe correspondant à l'évacuation des gaz, cette courbe recoupera l'adiabatique A_1a_1 en un point B_1 .

» La détente adiabatique se trouvera donc limitée de A_1 à B_1 .

» La surface ιA_1B_1 est proportionnelle à la quantité de chaleur transformée en travail, et la surface $o\iota B_1a_1$ est proportionnelle à la quantité de chaleur rejetée à l'évacuation.

» 2° Dans le second cas, le mélange est d'abord comprimé suivant l'adiabatique $\iota\theta$. L'explosion a lieu ensuite suivant θA_2 et la détente adiabatique suivant l'isentropique A_2a_2 .

» D'après ce qui précède, on voit que la surface $o\theta A_2a_2$ est précisément égale à la surface $o\iota A_1a_1$, ce qui exige que oa_2 soit plus petite que oa_1 .

» Suivant le raisonnement précédent, la quantité de chaleur transformée en travail dans ce second cas sera représentée par la surface $\iota\theta A_2B_2$. Il apparaît de suite que la surface $o\iota B_2a_2$ est plus petite que $o\iota B_1a_1$. La quantité de chaleur rejetée à l'échappement est donc moindre, et par suite celle transformée en travail devient plus considérable. La température des gaz au moment de l'ouverture de l'échappement, à la fin de la détente, est plus basse dans le second cas que dans le premier.

» 3° En produisant la combustion sous pression constante, au lieu d'une explosion sous volume constant, on obtient la courbe θA_3 au lieu de θA_2 .

» Cette combustion sous pression constante donne une température T_3 plus faible que T_2 , et le diagramme montre qu'en ce cas l'utilisation est moins avantageuse.

» 4° Mais il est possible d'inverser ce résultat en augmentant la compression jusqu'en θ' , comme il est possible de le faire dans les machines à combustion. Le travail utilisable devient alors $\iota\theta' A'_3B_3$ et la chaleur rejetée à l'échappement n'est plus que $o\iota B'_3a'_3$, ce qui correspond à une utilisation meilleure qu'avec les autres diagrammes.

» Il y a donc évidemment avantage à augmenter le plus possible la compression initiale. Ce qui précède montre aussi que la marche avec explosion permet une meilleure utilisation, par suite de la plus grande élévation de température qu'elle donne. Mais on est limité

dans cette voie par l'élévation de la pression sur les organes de la machine, et par les conditions dans lesquelles l'allumage du mélange explosif se produit.

» La compression doit forcément être limitée, de manière à ce que l'allumage du mélange ne se produise pas avant que le piston ait atteint la fin de sa course. Cette limite de pression dépend donc de l'inflammabilité du mélange. On peut aussi abaisser artificiellement ce point d'inflammation, en refroidissant, par injection d'eau, le mélange détonant.

» En pratique, les compressions admissibles pour les machines à explosion varient de 3 à 4 kg par cm² pour les mélanges riches, jusqu'à 8 à 10 kg par cm² pour les mélanges très pauvres. Avec une forte injection d'eau, on a même dépassé notablement cette pression sur le moteur Banki. Mais cette dernière solution ne s'est pas répandue.

» Au contraire, la machine à combustion permet de pousser la compression jusqu'aux limites admissibles pour l'étanchéité et la résistance des pièces de la machine, car l'allumage anticipé n'est pas à craindre et la pression sur le piston n'augmente pas sensiblement dans ces machines du fait de la combustion. Cette compression est réglée à 35 kg environ par centimètre carré.

» C'est ce qui permet à la machine à combustion de surpasser de beaucoup toutes les autres machines, au point de vue de l'utilisation du combustible.

» Ce qui précède fait comprendre pourquoi le régime à explosions avec compression préalable, ou le régime à combustion avec compression du comburant sont exclusivement utilisés aujourd'hui.

» Toutefois, le cycle à quatre temps, de Beau de Rochas, qui a permis le premier d'atteindre d'excellentes utilisations, semble aisément perfectible. Ce cycle à quatre temps, dans lequel le piston n'est moteur que pendant une course sur quatre, soit pendant un demi-tour tous les deux tours, paraît bien imparfait. Pour beaucoup, ce régime constituait une tare irrémédiable pour ce genre de machine. Aussi, de nombreux inventeurs ont-ils exercé leur sagacité pour améliorer le fonctionnement de la machine par une meilleure utilisation de ses organes. Ils ont cherché naturellement à se rapprocher du moteur à vapeur dans lequel, grâce à la marche à

double effet, le piston est moteur dans chacune de ses courses. Un effort considérable a porté sur la réalisation, simple en apparence, du moteur à deux temps, et nombre de solutions d'une grande ingéniosité ont été réalisées. Malheureusement, aucune d'elles n'a donné jusqu'ici les résultats espérés.

» En pratique, ces solutions ont toujours entraîné une augmentation importante de consommation, sans même apporter l'avantage d'une meilleure utilisation spécifique de la matière. Les moteurs les plus légers réalisés aujourd'hui sont encore des moteurs à quatre temps.

» Les motifs d'insuccès sont multiples et doivent être recherchés avec attention pour les différents types de moteurs à deux temps.

» Dans une première classe de ces machines, les produits de la combustion sont expulsés du cylindre par le piston lui-même. Lorsque ce dernier arrive à fin de course, le mélange détonant, comprimé par une pompe spéciale, pénètre derrière le piston, sous la pression convenable, et y est aussitôt allumé.

» L'aspiration et la compression du mélange détonant se font donc dans un cylindre auxiliaire pendant que l'explosion et la détente, puis l'évacuation se font dans le cylindre principal, comme dans un moteur à quatre temps ordinaire.

» M. Deschamps a montré que la compression du mélange en dehors du cylindre coûtait plus de travail que lorsqu'elle était effectuée dans le cylindre lui-même.

» Quand la compression se fait dans le cylindre même, elle nécessite un travail égal à $\int p dv$; lorsqu'elle est faite dans un cylindre séparé, elle exige $-\int v dp$.

» Si la compression est de forme adiabatique $pv^n = \text{const.}$ On a

$$n \int p dv = - \int v dp;$$

donc $-\int v dp$ est $> \int p dv$; d'un tiers facilement.

» Cette perte théorique est accrue par le fait des frottements des organes ajoutés au moteur.

» Dans une seconde classe, peuvent être rangés les moteurs à deux temps dans lesquels la compression du mélange ainsi que son

explosion et sa détente ont lieu dans le cylindre moteur. En ce cas, le mélange explosif est introduit vers la fin de la période de détente. Il est injecté de manière à expulser le mieux possible les gaz de la combustion précédente par un balayage du cylindre.

» Dans ce genre de machine, la partie inférieure du piston moteur est généralement utilisée pour aspirer et refouler au-dessus de ce piston le mélange explosif. Il en résulte une très grande simplicité d'organes, mais il en résulte aussi de sérieux défauts.

» Tout d'abord, on conçoit que ce procédé ne peut donner un balayage bien complet du cylindre, puisque le volume du mélange injecté ne peut jamais atteindre le volume de la cylindrée, par suite des pertes de charge que subit le mélange avant d'arriver au-dessus du piston. Par sa partie inférieure, ce piston ne peut aspirer qu'un volume légèrement inférieur au volume qu'il engendre, c'est-à-dire au volume de la cylindrée. La charge dans le cylindre moteur est donc toujours insuffisante.

» Ce défaut a été ingénieusement corrigé par M. Carlsund, dans le moteur Diesel à deux temps, en utilisant la partie inférieure du piston de la pompe de compression pour augmenter le volume d'air aspiré à l'extérieur. L'air se trouve ainsi aspiré à la fois par le piston moteur et par un second piston solidaire de la pompe servant, dans le moteur Diesel, à la compression de l'air. Mais, malgré ce perfectionnement, cette dernière machine ne s'est pas développée; elle conserve toujours les défauts de ce genre de moteur, tel que l'entraînement exagéré des huiles de graissage dans le cylindre.

» Malgré les difficultés et les imperfections actuelles de cette solution, la réalisation du moteur à deux temps est encore poursuivie par d'habiles ingénieurs qui parviendront sans doute à en tirer ce qu'ils sont en droit d'en espérer.

» Pour certaines applications spéciales, d'ailleurs, le moteur à deux temps est déjà entré dans la pratique, mais il n'en est pas moins vrai qu'à l'heure actuelle c'est le moteur à quatre temps qui l'emporte de beaucoup sur tous ses concurrents. Pour régulariser le couple moteur, et alléger la machine, la solution qui a prévalu consiste à multiplier le nombre des cylindres moteurs. C'est ainsi que, dans les applications à l'automobile, la machine à quatre cylindres est devenue d'un emploi universel et que nous voyons

paraître celle à six cylindres. D'intéressants dispositifs tels que celui de M. Letombe ont permis de faire des machines à quatre temps dans lesquelles les deux faces du piston travaillent à quatre temps. En montant deux cylindres semblables en tandem, toutes les courses deviennent ainsi motrices.

» L'alimentation des moteurs à explosion et à combustion se fait avec divers combustibles.

» L'essence de pétrole, d'une densité de 0,7 environ, a permis, grâce à sa volatilité, de réaliser des carburateurs d'une simplicité et d'une perfection remarquables. Les divers appareils de ce genre utilisés en automobile donnent au moteur une merveilleuse souplesse.

» Le pétrole, plus lourd, d'une densité de 0,8, offre nombre d'avantages au point de vue de la sécurité, de la facilité d'approvisionnement, mais aussi, sa moindre volatilité ne permet pas son utilisation dans les carburateurs ordinaires. De très nombreuses tentatives ont été faites pour établir des carburateurs à pétrole analogues à ceux fonctionnant à l'essence. Malgré les difficultés rencontrées, il est à souhaiter que ces efforts soient poursuivis. Il deviendra alors possible d'utiliser les machines si parfaites créées pour l'automobile, avec le pétrole ordinaire.

» Mais il existe depuis longtemps des machines fonctionnant avec ce dernier combustible et pourvues de dispositifs spéciaux pour sa bonne utilisation. Il faut reconnaître, toutefois, que ces machines n'ont pas toutes les qualités du moteur à essence. Elles sont cependant très répandues dans l'industrie, ainsi que dans les applications militaires, principalement pour la commande des dynamos.

» Si les moteurs à explosion n'ont pu utiliser commodément le pétrole ordinaire jusqu'à ce jour, par contre, ce combustible et des huiles lourdes beaucoup plus communes sont employés avec plein succès dans le moteur à combustion du système Diesel.

» Grâce à la possibilité de brûler à chaque admission, dans un moteur à combustion, la quantité de combustible exactement nécessaire au régime de charge, ce genre de machine présente, en outre des avantages de rendement déjà signalés, une exceptionnelle souplesse d'allure. Pour le même motif, la consommation reste fort

avantageuse à tous les régimes. C'est ainsi qu'un moteur Diesel qui consomme 170 g à pleine charge par cheval-heure, ne consomme que 190 g à demi-vitesse et au quart de charge.

» Le gaz d'éclairage est le combustible le plus facile à utiliser dans le moteur à explosion et c'est lui qui a été le premier employé en pratique. Mais le prix élevé de ce combustible, la sujétion d'une liaison avec un centre de production, ont conduit à rechercher le moyen de produire économiquement sur place le gaz nécessaire à l'alimentation du moteur. C'est cette nécessité qui a amené la création de gazogènes affectés au service des moteurs. Ces gazogènes produisent un gaz dénommé *gaz pauvre*, obtenu par la combustion du charbon en présence d'un excès de combustible avec injection de vapeur d'eau.

» L'utilisation des gaz de hauts fourneaux a donné un développement considérable à l'emploi des moteurs à explosion de grandes puissances.

» Depuis le succès des procédés de séparation des poussières entraînées par les gaz, un très grand nombre de machines ont été mises en service. Ces installations comportent fréquemment des unités de plus de 1000 chevaux. Un haut fourneau produisant 100 tonnes de fonte par jour donne environ 16000 m³ de gaz par heure pouvant produire une puissance d'au moins 2000 chevaux.

» L'utilisation de cette puissance se faisant par l'intermédiaire de l'électricité, il en est résulté une grande extension de l'usage des appareils électriques dans les usines métallurgiques.

» Nous allons examiner maintenant, avec quelques détails, les gazogènes spécialement établis pour desservir les moteurs.

» Depuis longtemps déjà, les gazogènes sont entrés dans la pratique courante de l'industrie pour divers chauffages. En ce cas, le gaz peut être employé à la température élevée à laquelle il sort du gazogène, les poussières entraînées sont peu gênantes et, enfin, les matières volatiles brûlent en augmentant la puissance calorifique du gaz.

» Par suite, l'emploi de charbons gras, riches en matières volatiles, ne présente aucun inconvénient pour de telles applications.

» Il en est tout autrement lorsque le gaz est utilisé dans les

moteurs. Ce gaz doit alors être épuré et refroidi. Les produits volatils sont alors condensés et il faut les arrêter pour qu'ils ne viennent pas engorger les organes du moteur.

» Pour atténuer le plus possible la difficulté, les premiers constructeurs ont fait choix de combustibles renfermant le minimum possible de cendres et de matières volatiles. L'antracite anglais du pays de Galles, qui est du carbone à peu près pur, a permis, dès l'origine, un bon fonctionnement des moteurs à gaz pauvre avec des procédés d'épuration tout à fait rudimentaires. Mais il a fallu assez longtemps pour arriver à utiliser, comme cela se fait couramment aujourd'hui, des charbons maigres et du coke.

» Or il est bien évident que, pour bénéficier véritablement des avantages économiques du moteur à gaz pauvre, il fallait pouvoir employer des combustibles à bas prix.

» Aujourd'hui, certains gazogènes permettent d'utiliser, dans de bonnes conditions, le coke des usines à gaz et les charbons maigres du Nord, du Pas-de-Calais, de l'Hérault et du Gard. L'utilisation des charbons gras présente encore des difficultés. Enfin, certains appareils, tels que le gazogène Riché, permettent l'emploi du bois comme combustible.

» La consommation de charbon maigre est d'environ 0,500 kg par cheval-heure, ce qui permet de produire le cheval-heure effectif, disponible sur l'arbre du moteur, avec une dépense de combustible de 0,015 fr à 0,02 fr.

» Les gazogènes fonctionnant couramment 10 à 12 heures sans rechargement, les frais de main-d'œuvre sont très faibles et les constructeurs ont réussi à faire aujourd'hui des appareils d'un entretien peu onéreux.

» Le gaz pauvre est produit par le passage d'un courant d'air à travers une colonne de combustible maintenu au rouge. Vers le point d'arrivée de l'air, la combustion est vive et il se produit de l'acide carbonique. Ce gaz en traversant le combustible en excès est réduit et donne de l'oxyde de carbone. Ce gaz combustible dilué dans l'azote de l'air injecté, fournit un gaz pauvre.

» Toutefois, le gaz ainsi produit est à température élevée. L'obligation de le refroidir pour l'employer dans le moteur conduirait à une perte notable de chaleur. L'injection dans le gazogène de va-

peur d'eau en même temps que l'air atténue beaucoup cette perte.

» L'eau est dissociée, son hydrogène reste libre et son oxygène se fixe sur le carbone pour donner encore de l'oxyde de carbone.

» La dissociation de l'eau absorbe de la chaleur et abaisse ainsi la température des gaz, tout en les enrichissant. On obtient ainsi un mélange d'oxyde de carbone, d'hydrogène avec une certaine proportion de carbures d'hydrogène, et de l'azote.

» La puissance calorifique du gaz ainsi obtenu varie de 1100 à 1300 calories par mètre cube. A sa sortie du gazogène, le gaz pauvre est refroidi et épuré, puis utilisé directement dans le moteur.

» Les gazogènes se divisent en deux types.

» Le premier type comprend les gazogènes sous pression ou soufflés, dans lesquels l'air et la vapeur sont insufflés, soit par un injecteur à vapeur, comme dans le gazogène Dowson, soit par un ventilateur, comme dans le gazogène Lencauchez, soit à haute pression par un compresseur, comme dans le gazogène Gardie.

» L'usage du gazogène sous pression s'impose lorsqu'il s'agit d'assurer l'alimentation d'appareils tels que des brûleurs, foyers, etc., fonctionnant comme les appareils utilisant le gaz d'éclairage. En ce cas, le gaz est refoulé sous une cloche à gaz qui assure la régularité de la distribution sous la pression voulue. Cette cloche à gaz permet aussi le mélange du gaz fourni pendant une certaine durée de la marche du gazogène et régularise ainsi la composition de ce gaz.

» Mais les appareils d'insufflation et la cloche à gaz compliquent notablement l'installation. C'est pourquoi, lorsqu'il s'agit uniquement d'alimenter des moteurs, la préférence est aujourd'hui généralement accordée au deuxième type, le gazogène par aspiration. Dans ces appareils, tels que les gazogènes Pierson, Taylor, etc., l'air et la vapeur sont aspirés par le moteur lui-même.

» Pour préciser les dispositions de ce genre de gazogènes, nous allons examiner, avec quelques détails, les dispositions de l'un d'eux, le gazogène Pierson.

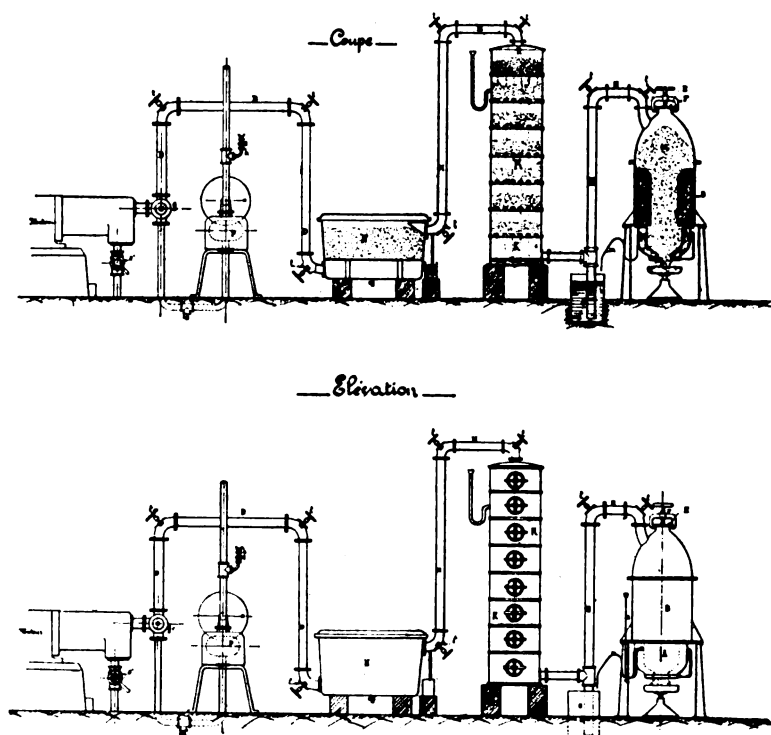
» La figure 2 représente la coupe de cet appareil. Il comprend le producteur, constitué par un corps cylindrique en fonte B, garni de pièces réfractaires, et le foyer qui, dans l'appareil en question, se trouve constitué par le vaporisateur A. Cette solution permet d'évi-

ter l'emploi de matières réfractaires au voisinage des parties les plus chaudes du combustible, ce qui réduit très notablement l'entretien.

» La chaleur ainsi soustraite au foyer sert à produire la vapeur qui doit être injectée dans le gazogène. Dans ces conditions, la pro-

Fig. 2.

Gazogène "Lierzon" par aspiration. Brevé S. G. D. G.



portion d'eau injectée tend à maintenir automatiquement constante l'allure de la température. Si le feu est trop poussé, la vaporisation augmente, la quantité d'eau injectée croît en même temps, ce qui a pour effet de refroidir le foyer. Si, au contraire, le feu tend à baisser, la proportion de vapeur injectée diminue et la température remonte.

» Dans cet appareil, le foyer est ouvert à la partie inférieure et le combustible se trouve soutenu par l'accumulation des cendres sur une sole indépendante. Ce dispositif facilite l'extraction des

cendres et du mâchefer. L'air et la vapeur pénètrent régulièrement sur toute la périphérie de l'orifice inférieur du gazogène.

» A la partie supérieure de ce gazogène se trouve la tubulure de chargement E. Lorsqu'une marche continue de 10 à 12 heures suffit, cette tubulure est fermée par un simple tampon maintenu par un étrier à vis. Si, au contraire, la marche doit être prolongée et nécessaire, par suite, des rechargements en cours de service, cette tubulure est pourvue d'un sas permettant l'introduction du combustible, sans perte de gaz.

» Le gaz pauvre sort du producteur par une tubulure qui le conduit au condenseur-laveur à étages. Cette tubulure plonge dans un siphon O où sont entraînées les impuretés qui se trouvent rejetées à l'égout par entraînement d'eau.

» Le condenseur-laveur K, qui fait l'office ici du condenseur et de la colonne à coke bien connue, est divisé en une série d'étages garnis d'une matière inerte. Le gaz passe d'un étage à l'autre par des ajutages. L'eau de lavage coule en sens inverse et, se trouvant bien répartie par ce dispositif, vient en contact intime avec le gaz.

» Deux des étages supérieurs restent à sec pour assurer l'assèchement du gaz.

» Dans les étages inférieurs, l'eau est à une température assez élevée, ce qui facilite l'entraînement des goudrons. Les poussières, les goudrons et l'ammoniaque, ainsi qu'une partie de l'hydrogène sulfuré, sont retenus dans le condenseur-laveur.

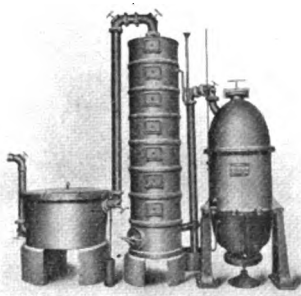
» De cet appareil le gaz va dans un épurateur chimique N dont l'oxyde de fer retient l'hydrogène sulfuré qui reste encore dans le gaz et forme du sulfure de fer. En sortant de ce dernier épurateur, le gaz est prêt à être utilisé au moteur.

» La figure 3 montre l'aspect extérieur du gazogène et de ses accessoires.

» Pour permettre la mise en marche, le tuyau à gaz D aboutit à un robinet à trois voies *g* qui le dirige soit dans un ventilateur du type Root P, soit au moteur. Lors de l'allumage, le gaz est aspiré par le ventilateur qui le rejette dans une cheminée. Dès que l'allumage d'un bec témoin *h*, placé sur cette cheminée, permet de reconnaître que la composition du gaz est convenable, le moteur est mis en marche. Cette mise en marche peut se faire à bras, à l'air

comprimé, ou encore par le gaz lui-même. A cet effet, dans le type d'appareil que nous décrivons, le gaz mélangé à une proportion d'air convenable est refoulé, au moment de la mise en marche, à travers un réservoir cylindrique allongé et la chambre de combustion du moteur lui-même. Ce refoulement se fait par un clapet spécial placé au-dessus de la soupape d'échappement. Pour que la circulation du gaz ait lieu, on tient ouverte la soupape d'admission du gaz. Le ventilateur qui sert à l'allumage est alors employé à

Fig. 3.



refouler le gaz en même temps que l'air nécessaire puisé à l'extérieur.

» Toute la tuyauterie de refoulement, le réservoir de mise en marche et la culasse du moteur se remplissent ainsi d'un mélange détonant. Il suffit alors d'allumer ce mélange par une soupape spéciale placée près du ventilateur, sur la tubulure de refoulement, pour provoquer la déflagration. L'effet de cette déflagration, dans les tubulures et dans le réservoir cylindrique allongé, est de provoquer une compression importante pouvant atteindre 5 à 6 kg par cm^2 dans le cylindre du moteur. Le piston, préalablement placé à sa position de départ, se met doucement en marche. La propagation du feu produit alors l'inflammation du mélange détonant ainsi comprimé et le moteur reçoit une vive impulsion qui, grâce au volant, assure la mise en marche.

» Pour obtenir du moteur le maximum de puissance, il importe de réduire au minimum les pertes de charges provoquées par l'aspiration du gaz à travers le gazogène, les appareils d'épuration et la tuyauterie.

» Dans le type d'appareil décrit, ces pertes de charge sont d'environ 3 mm d'eau à travers le producteur, de 10 mm avant l'épurateur chimique et de 18 mm à l'entrée du moteur.

» La plupart des gazogènes comportent des dispositions analogues à celles de l'appareil qui vient d'être décrit. Les variantes à noter portent sur le sens de la combustion qui se fait le plus souvent de bas en haut, mais qui se produit de haut en bas dans certains gazogènes. Ces appareils, dits à *combustion renversée*, ont pour objet de faciliter l'emploi de charbons chargés de matières volatiles.

» Dans un assez grand nombre d'appareils, le générateur de vapeur, au lieu d'être placé autour du foyer, est chauffé par les gaz à leur sortie du gazogène. Une partie de la chaleur de ces gaz est ainsi utilisée à produire la vapeur nécessaire.

» Lorsque le foyer n'est pas refroidi par circulation d'eau, il faut le garnir de matériaux réfractaires.

» Ce garnissage donne lieu à un entretien assez fréquent, par suite de la dégradation résultant de la haute température et surtout du ringardage du mâchefer qui adhère sur les parois.

» Enfin, au lieu du dispositif décrit, divers gazogènes sont pourvus de grilles de systèmes variés.

» L'emploi d'une grille devient nécessaire pour uniformiser la combustion lorsque le diamètre du gazogène augmente notablement.

» Dans plusieurs systèmes le cendrier est fermé. L'air et la vapeur arrivent alors ensemble sous la grille par une même tubulure.

» Les appareils d'épuration sont plus ou moins développés, suivant la nature du combustible employé. Avec les combustibles aussi purs que les anthracites anglais, un laveur très réduit peut suffire et, souvent, il n'est pas installé d'épurateur chimique. »

M. le PRÉSIDENT. — « Les électriciens ne sauraient rester indifférents aux progrès des moteurs à air chaud qui seront de plus en plus appelés à conduire leurs machines. Nous remercions donc M. Bochet d'avoir bien voulu nous communiquer les précieux renseignements contenus dans sa très intéressante conférence ; conférence qu'il illustrera, le 19 courant, par une visite à l'Exposition de l'Automobile où il veut bien guider nos collègues. »

TÉLÉGRAPHE RAPIDE SYSTÈME POLLAK ET VIRAG.

M. Désiré KORDA. — « Deux ingénieurs hongrois ont trouvé que notre télégraphe actuel, cet appareil électrique qui symbolise pourtant par excellence la rapidité, n'est cependant pas assez rapide. Ils ont pensé que nos communications télégraphiques sont très chères, précisément parce qu'elles sont trop lentes.

» Ce raisonnement a conduit, à une invention merveilleuse, M. Antoine Pollak, ici présent, et son collaborateur, M. Joseph Virag qui, malheureusement, n'a pas pu recueillir le fruit de son beau travail, ayant été enlevé en 1902 par une mort prématurée, le lendemain même de la besogne accomplie. Cette invention que je dois vous présenter aujourd'hui, est véritablement destinée à faire époque et à provoquer de profonds changements dans nos modes de transmission actuels.

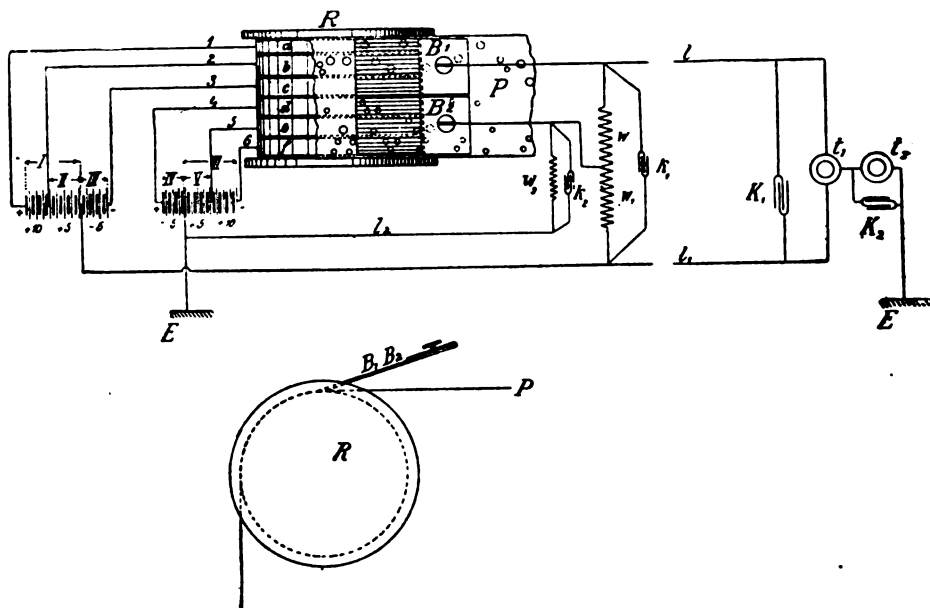
» Si je vous parle aujourd'hui de l'appareil Pollak-Virag, comme d'une chose nouvelle, malgré les nombreuses descriptions qui en ont paru dans les périodiques et dans les comptes rendus des Congrès et même malgré que l'appareil, dans sa première forme, ait été montré à l'Exposition universelle de 1900, c'est que, depuis, il a subi de nombreux perfectionnements et est devenu d'une simplicité vraiment remarquable, comme vous pourrez l'apprécier vous-mêmes, et qu'enfin nous avons la bonne fortune d'avoir parmi nous un de ses inventeurs qui pourra faire fonctionner l'appareil devant vos yeux.

» Le système combiné par MM. Pollak et Virag est un appareil de télégraphie rapide, écrivant directement, comme à la main, les lettres ordinaires de l'alphabet. Il diffère déjà, en cela, complètement de tous les autres appareils télégraphiques actuels. Il en diffère en même temps par sa puissance incomparable, qui permet la transmission de 40 000 mots, composés de plus de 250 000 lettres, à l'heure, décuplant ainsi l'efficacité de l'appareil Baudot qui, jusqu'ici, tenait la tête avec 4 à 5 mille mots à l'heure, en face des 1000 mots du fameux appareil Hughes et des modestes 400 mots de l'appareil classique de Morse.

» Pour obtenir de telles vitesses, il fallait un transmetteur à rotation rapide, où la main humaine devait se borner uniquement au rôle de préparation et de mise en marche, ainsi qu'un récepteur presque sans inertie pouvant suivre la rapidité de la transmission.

» Pour le premier, les inventeurs ont eu recours à un moteur électrique qui met en rotation rapide un tambour métallique R (*fig. 1*) sur lequel se déroule une bande de papier portant le texte

Fig. 1.

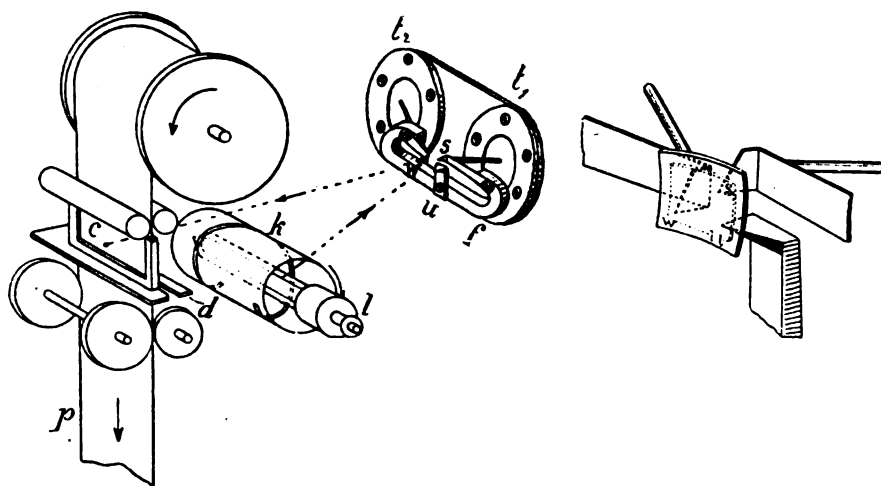


du télégramme sous forme d'un système de trous; ceux-ci sont percés au moyen d'un instrument auxiliaire, le *perforateur*, complètement indépendant de l'*appareil*.

» L'aspect de ces trous de grands et petits diamètres, qui se suivent sur la bande de papier, rappelle vaguement celui des signes de Morse. La bande de papier P est serrée par un rouleau contre un tambour métallique R (*fig. 1*). Ce dernier est composé de six bagues juxtaposées *a, b, c, d, e, f*, isolées électriquement l'une de l'autre. Chaque bague est reliée métalliquement aux bornes correspondantes d'une batterie d'accumulateurs ou de piles sèches, donnant ainsi à chaque bague un potentiel déterminé. Nous expliquerons plus loin la raison de la nécessité de ces potentiels variés

aux dites bagues. Contre le ruban de papier sont serrés des balais métalliques au nombre de deux fois trois, c'est-à-dire un par bague, et dont trois sont reliés en parallèle. B_1 représente la jonction des trois balais a, b, c , et B_2 celle des trois autres d, e, f . Lorsque le balai rencontre une perforation du ruban de papier, la batterie envoie par ce balai, pendant le court instant du passage de ce dernier sur le trou, un courant dans la ligne. De cette façon,

Fig. 2 et 3.



on peut transmettre environ 400 émissions de courant à la seconde, tandis que par les procédés de télégraphie ordinaires on n'arrive à en transmettre que 5 ou 6 tout au plus.

» Le récepteur, la partie la plus ingénieuse de l'invention, utilise ces émissions de courant, en les faisant agir sur les membranes de deux téléphones, t_1 et t_2 (*fig. 1*) et, par leur intermédiaire, sur un miroir (*fig. 2 et 3*) qui, en réfléchissant les rayons d'une lampe à incandescence, projette une tache lumineuse, un *spot*, sur une bande de papier sensible. Comme le miroir repose sur un point fixe u , l'une des membranes téléphoniques s lui imprime un mouvement vertical, tandis que l'autre w le met en mouvement horizontal.

» Par la combinaison de ces mouvements, le faisceau lumineux réfléchi écrit dans la chambre noire le texte du télégramme, en caractères latins, sur le papier photographique. Le développement

de ce dernier se fait automatiquement dans un bain fixateur, enfermé dans une partie spéciale de l'appareil, d'où le ruban de papier sort complètement achevé, prêt à être livré au destinataire. D repré-

Fig. 4.

la
conquete du pôle
christiana 22 dec
embre le capitan
me amundsen chef de
l'expédition de 22
a et ses compagnons
sont arrives ici a
midi a bord du cuir
vasse norge ils ont
ete accueillis par

sente les ciseaux de l'appareil servant à découper le papier aussitôt que le télégramme est inscrit. Le ruban a une largeur de 7 cm.

» Dans la première forme de leur appareil, les inventeurs

Fig. 5.



n'avaient eu recours qu'à un seul téléphone, et les télégrammes n'étaient reproduits que par une ligne ondulée, composée d'élongations plus ou moins hautes, rappelant les signes du siphon recorder de Lord Kelvin (*fig. 5*), et au moyen desquelles on pouvait combiner l'alphabet Morse.

» C'est un tel appareil, incomplet, qui fut exposé à Paris en 1900

et qui fut expérimenté entre Berlin et Budapest sur une ligne de 1000 km de longueur, causant une grande sensation par la rapidité de la transmission.

» A la suite de ces expériences, les inventeurs ont été amenés à perfectionner leur invention, en combinant le téléphone qui produit le mouvement vertical du *spot* avec un deuxième téléphone, dit à *mouvement horizontal*, et le fonctionnement simultané de ces deux téléphones fournit l'écriture en lettres ordinaires.

» Le récepteur repose en somme sur le jeu d'un miroir qui

Fig. 6.



envoie un rayon lumineux réfléchi sur le fond d'une chambre noire où ce rayon décrit des figures qui correspondent au mouvement imprimé. On pourrait imaginer une source lumineuse fixe et un miroir mobile, ou bien, et c'est ce que les inventeurs ont préféré, une source de lumière mobile, en même temps qu'un miroir qui vibre. En effet, dans leur appareil, le point lumineux est fourni par l'intersection du filament incandescent et rectiligne d'une lampe électrique et de la fente hélicoïdale d'un diaphragme cylindrique K enveloppant cette lampe à incandescence *l*; le moteur de l'appareil imprime au cylindre un mouvement de rotation uniforme. Il résulte de tout ceci un mouvement rectiligne du point lumineux qui, après avoir décrit une ligne droite, revient subitement à son point de départ, et ainsi de suite. A ce mouvement, se superposent les vibrations du miroir et il en résulte l'écriture représentée figure 4, dont chaque ligne a une longueur déterminée par la longueur de la fente du diaphragme et par la distance du miroir au papier sensible. Toutes les lignes sont équidistantes en raison du mouvement d'avancement du papier.

» Il y a encore une disposition ingénieuse à signaler pour le

mode de suspension du miroir vibrant. En effet, ce miroir est collé sur une petite plaque en fer (*fig. 3*) maintenue par l'attraction magnétique contre les trois pointes u , w et s .

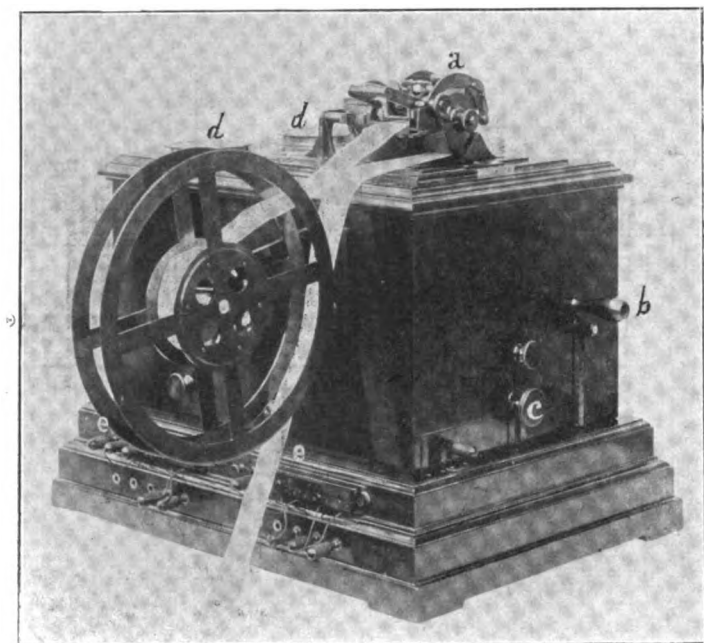
» La pointe u est solidaire d'un aimant permanent en fer à cheval f , auquel les pointes w et s sont liées par de petits ressorts en fer (sur la figure 2, le miroir a été enlevé pour faire voir la disposition des pointes). w touche en même temps, par une petite tige, la membrane du téléphone t_2 qui donne les traits horizontaux et s de même la membrane de t_1 qui donne les traits verticaux.

» Comme les traits horizontaux et verticaux doivent être de longueurs différentes pour les diverses parties des lettres de l'alphabet latin, les trois bagues d , e , f , du transmetteur actionnant le téléphone *horizontal*, correspondent à des voltages différents. Ainsi f correspond à + 10 volts et fournit un trait long horizontal. e correspond à + 5 volts et donne un trait court horizontal, tandis que d , avec - 5 volts, fournit le même trait en sens inverse. De même pour les traits verticaux : a , avec + 10 volts, donne un trait long, produit par une grande elongation de la membrane du téléphone t_1 ; par contre, b , avec + 5 volts, ne donne qu'un trait moitié moins long et c , avec - 5 volts, ce même trait court en sens inverse. La figure 1 fait voir les schémas de fonctionnement électrique du transmetteur. Le téléphone *vertical* t_1 est insensible aux effets de courant venant des bagues d , e , f qui correspondent au téléphone *horizontal* t_2 . En effet, le fil qui vient du balai B_2 aboutit juste au milieu de la bobine $w w_1$. Le courant se divise en deux fractions égales, qui viennent en sens inverse sur le téléphone t_1 , et l'action résultante sur la membrane de ce téléphone est nulle. Par contre, en passant par le téléphone t_2 à la terre E, elles font fonctionner la membrane de cet appareil t_2 .

» Il y a diverses circonstances, dont il faut tenir compte soigneusement, si l'on veut éviter des déformations gênantes dans les caractères de l'écriture. Ainsi, par exemple, il est de toute évidence que les membranes des téléphones, en même temps qu'elles suivront les impulsions des courants, seront soumises également à leurs vibrations propres dont l'effet peut nuire beaucoup à la netteté des lettres.

» On peut éliminer ces perturbations, en donnant aux impulsions de courant la même durée que celle de la période de vibration de la membrane téléphonique, c'est-à-dire en choisissant la vitesse du ruban de papier et le diamètre des trous de contact, de telle façon que la durée du contact métallique, entre les balais et les disques, coïncide avec ladite période. Dans ce cas, la force motrice

Fig. 7.



qui agit sur la membrane cesse au moment du passage de cette dernière par sa position d'équilibre.

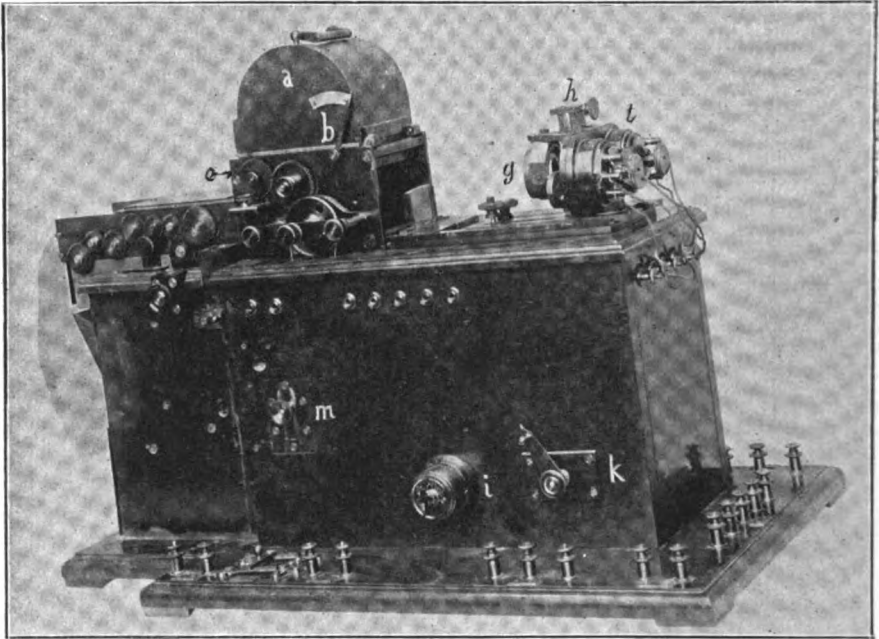
» Les oscillations nuisibles deviennent alors très faibles et s'amortissent rapidement.

» Les inventeurs ont préféré choisir la durée des contacts plus petite que la période d'oscillation propre des membranes et intercaler les condensateurs K_1 et K_2 dans les circuits, en parallèle avec les téléphones. En effet, ces condensateurs peuvent se charger pendant la durée du contact et se décharger ensuite dans la bobine du téléphone, aussitôt que le mouvement continu du ruban de papier a interrompu le contact métallique. Ce courant de décharge achève donc l'élongation de la membrane, mais

en même temps, si la capacité du condensateur est bien choisie, elle assure les conditions nécessaires pour que le mouvement de la membrane soit apériodique au lieu d'être oscillatoire.

» Une autre circonstance, dont il faut tenir compte, résulte de la haute capacité et de la forte résistance des longues lignes télégra-

Fig. 8.



phiques qui, pour des courants de fréquences aussi rapides que ceux produits par l'appareil Pollak et Virag, donneraient lieu à une propagation trop lente du courant et, par conséquent, à une déformation de l'écriture. Pour remédier à cet inconvénient, on a intercalé les bobines de self-induction ω , ω_1 , ω_2 . Grâce à ces bobines l'établissement et la suppression du courant deviennent plus rapides. En effet, la capacité des lignes occasionne une décharge lente, tandis que le courant de self-induction, produit par ces bobines au moment de la rupture, se décharge dans le circuit du téléphone, en direction opposée à celle du courant principal, éteint rapidement ce dernier et rend la membrane apte à recevoir immédiatement la nouvelle impulsion due à la perforation suivante du ruban de papier.

» Comme les traits horizontaux exigent des impulsions plus lentes que les traits verticaux, on peut se contenter, pour le téléphone *horizontal*, d'une bobine de self-induction ω_2 , plus petite que pour la membrane verticale.

» Les inventeurs ont fait fonctionner leur appareil avec ou sans ces bobines de self-induction et ont prouvé ainsi la grande influence que la présence de ces bobines exerce sur la netteté des caractères.

» Cette netteté est aussi affectée par la différence de phase existant entre les impulsions *horizontales* et *verticales*. En effet, la loi qui relie dans le temps le trait horizontal et le trait vertical n'est pas quelconque, mais doit correspondre aux caractères à tracer. On a essayé d'abord d'obtenir cette loi par le réglage des balais; toutefois, il a paru plus efficace de recourir à l'emploi des condensateurs k_1 et k_2 , dont les capacités sont choisies de façon à produire la différence de phase juste nécessaire.

» Par ces moyens les effets perturbateurs sont complètement annihilés. Les autres perturbations, qui peuvent résulter de l'effet d'induction des fils de ligne voisins, ou des courants terrestres, peuvent être évitées au moyen de téléphones construits spécialement à cet effet.

» En ce qui concerne les détails techniques du télégraphe Pollak-Virag, il nous reste à dire un mot de l'appareil qui sert à préparer le ruban perforé.

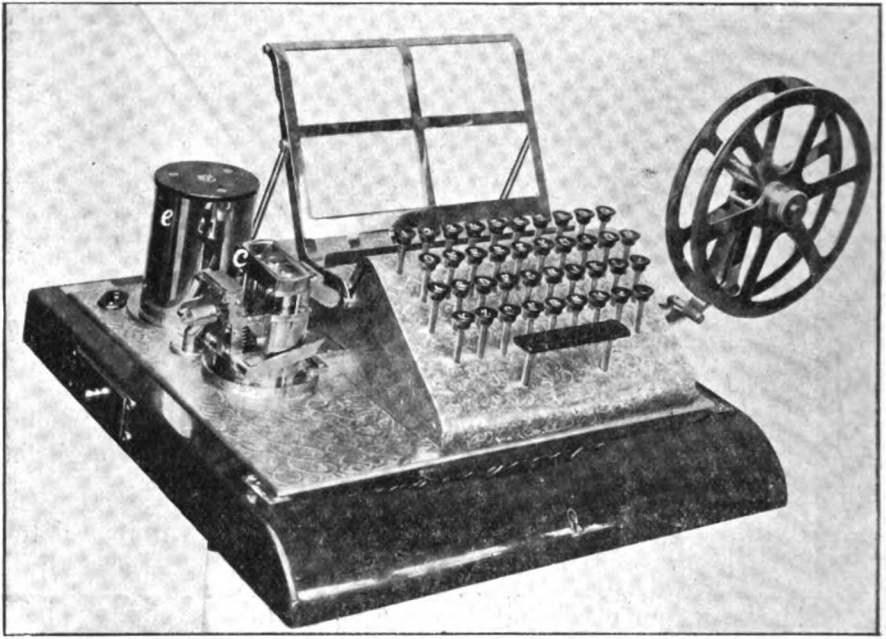
» Cet appareil perforateur est représenté sur la figure 9. Il consiste en une machine à écrire, dont les touches font avancer, par un mouvement horizontal, un certain nombre de barrettes, sur lesquelles des aiguilles perforatrices peuvent alors s'appuyer. Le ruban a , mû par l'organe entraineur b , en passant sous l'outil c , qui est abaissé par l'électro-aimant e , reçoit donc autant de trous, à chaque mouvement des touches, que le nombre de barrettes avancées et bloquées par la touche l'indique. A chaque lettre à imprimer correspond ainsi une disposition particulière des trous.

» Il est évident que les rubans perforés peuvent être préparés indépendamment de l'appareil télégraphique. L'expéditeur qui possède un appareil perforateur chez lui n'a qu'à apporter le ruban perforé à l'employé du télégraphe. Pour nous faire une idée de

la capacité du système, nous pouvons rappeler que 23 machines à écrire perforatrices suffisent à peine pour alimenter un appareil télégraphique Pollak-Virag en plein fonctionnement continu.

» En effet, on est arrivé à perforer 2000 mots par heure avec un ap-

Fig. 9.



pareil perforateur, tandis qu'un appareil télégraphique Pollak-Virag peut transmettre près de 50000 mots.

» Voici maintenant comment fonctionne le système dans la pratique : dès que l'employé préposé au poste A veut correspondre avec le poste B, il appelle ce dernier en agissant, par la poignée *b* (*fig. 7*) du transmetteur, sur un inducteur par lequel la station réceptrice est mise en circuit. Au préalable, il aura ajusté son ruban perforé sur l'organe d'entraînement *a*, que l'interrupteur *c* du moteur électrique permet de mettre en mouvement; *d, d* sont les résistances, et *e, e* les condensateurs du transmetteur. L'employé de la station B, une fois prévenu, met en fonctionnement son moteur électrique, en agissant sur le régulateur K (*fig. 8*) du mécanisme de commande du récepteur. Le reste se fait automatiquement. En effet, l'inducteur du poste A, en envoyant le signal d'avertissement,

saisit, au moyen d'un électro-aimant qui agit sur l'organe *a*, le papier sensible, dont la quantité est indiquée par l'aiguille *b*, et le met en mouvement; *c* est une fenêtre garnie d'un verre rouge, permettant de voir les déplacements du point lumineux, que l'on peut suivre comme une sorte de flamme traçant des lettres.

» Le message étant terminé, la bande est coupée par le couteau *d* et n'a plus alors qu'à passer dans les bains photographiques; *t* indique la paire de téléphones en face desquels se meut le miroir qui réfléchit le rayon lumineux. Une lentille *g*, ajustable par une vis *h* est placée devant le miroir pour des motifs d'ordre optique; *i* est un interrupteur, *l* un commutateur pour un fil de conversation, et *m* un tendeur pour le fil de transmission.

» La figure 4 représente un spécimen d'une dépêche ainsi transmise, dont le ruban perforé est reproduit par la figure 6.

» Ce système, qui peut répondre à toutes les exigences, a fait ses preuves dans la pratique dans divers essais officiels prolongés. Pour répéter les détails de ces essais, nous ne pouvons mieux faire que de reproduire l'attestation du Gouvernement hongrois, pour les essais faits entre Budapest et Pozsony (Presbourg), sur une ligne de 218 km, ainsi que celle du Gouvernement allemand, pour les essais entre Berlin et Königsberg, sur une ligne de 710 km.

» Le document hongrois est surtout élogieux et indique aussi pour quel motif cette ingénieuse invention hongroise ne peut pas encore triompher dans sa patrie : il n'existe pas actuellement dans ce pays deux bureaux ayant entre eux un trafic suffisant pour fournir une quantité de travail convenable justifiant l'installation de l'appareil Pollak-Virag.

» Voici le texte de ce document en français :

Attestation.

« En ce qui concerne les expériences effectuées avec le système de télégraphe rapide Pollak-Virag, j'ai l'honneur de vous informer que :

» 1° Les essais téléphoniques furent faits sur la ligne téléphonique n° 2008, Budapest-Pozsony.

» Cette ligne consiste en deux fils de cuivre, de 3 mm de diamètre, ayant une résistance de 2,5 ohms par kilomètre; la résistance totale de la ligne, dont la longueur est d'environ 218 km, en y comprenant la résistance des petits fils qui la constituent à l'intérieur de la ville, s'élève à 1350 ohms.

» 2° Ce circuit est établi le long d'une voie ferrée, sur des pòteaux portant de 2 à 5 autres fils téléphoniques; de l'autre côté sont les fils télégraphiques.

» 3° Le télégraphe rapide Pollak-Virag fut mis en fonctionnement, sur cette ligne n° 2008, du 24 octobre au 15 décembre, afin de procéder à des expériences pratiques. Des télégrammes furent transmis, avec les meilleurs résultats, de Pozsony à Budapest, chaque jour, durant 3 à 4 heures, après 9^h du soir.

» 4° Les appareils employés, qui comportaient les derniers perfectionnements du système de télégraphe rapide Pollak-Virag, ont délivré les télégrammes sur une bande de papier de 70 mm de largeur, écrits en italique, suivant des lignes transversales de 60 mm de longueur. Deux circuits étaient employés pour obtenir cette écriture en italique; l'un était formé par ces deux fils téléphoniques, l'autre par ces deux fils, réunis en parallèle, et la terre. L'un de ces circuits servait à la formation des composantes verticales, et l'autre à la formation des composantes horizontales des lettres.

» 5° L'appareil permit de transmettre 45 000 mots par heure entre les deux stations, qui furent reçus exactement et clairement.

» 6° La manipulation de l'appareil parut simple durant toute la période des expériences; quoique les conditions atmosphériques fussent fort variées une correction ou réglage fut rarement nécessaire.

» 7° Les expériences faites avec la machine à perforer démontrent que l'on peut, avec une habileté ordinaire, perforer correctement 2000 par heure.

» La raison pour laquelle le Ministre hongrois ne peut pas, malgré ces résultats favorables, adopter, d'une manière permanente, le système en question est qu'il n'existe pas, sur le territoire de la Hongrie, deux stations ayant entre elles un trafic suffisant pour fournir convenablement du travail à ces appareils, même pendant peu de temps, pour justifier une installation. »

Budapest, le 20 décembre 1902.

Par ordre du Ministre :

NADOR VINCZE,

*Représentant le Président du Département
des Postes et Télégraphes.*

» Voici maintenant la traduction française du document allemand :

« Des expériences ont été faites avec les nouveaux appareils télégra-

priques rapides Pollak-Virag, du 24 février jusqu'au 14 mars, sur deux lignes à deux fils de bronze, entre Berlin et Königsberg (en Prusse), en présence des représentants officiels de l'Administration des Postes et Télégraphes.

» L'une, de ces deux lignes à deux fils, sert aux communications téléphoniques et est supportée, avec d'autres lignes téléphoniques à deux fils, par des poteaux affectés seulement à la téléphonie. Elle a une longueur de 710 km, la résistance de chacun des fils (4,5 mm de diamètre) étant d'environ 1100 ohms. Chacun des télégrammes d'essais, envoyés sur cette ligne par le télégraphe rapide, était reçu en bonne écriture, que la transmission fût faite de jour ou de nuit, dans des conditions atmosphériques variables. Le plus grand nombre de mots par heure transmis, durant la période d'expérimentation, fut d'environ 40 000.

» Le fonctionnement de ces appareils de télégraphie rapide ne fut pas affecté par les lignes téléphoniques voisines; mais, d'autre part, la ligne Pollak-Virag produisit des troubles d'induction sur toutes les lignes téléphoniques, et, dans quelques-unes de celles-ci, les communications téléphoniques furent très altérées.

» La seconde ligne d'expériences consistait en deux fils télégraphiques de bronze, de 3 mm de diamètre, fixés aux poteaux téléphoniques ordinaires, reliés de manière à former une ligne à deux fils, dans laquelle une section souterraine de la ligne (à l'exception de 170 m de fil isolé à la gutta) était disjointe et remplacée par un fil aérien. La longueur de la ligne à deux fils ainsi constituée était d'environ 600 km, chacun des deux fils ayant une résistance d'environ 1700 ohms.

» Les mêmes appareils de télégraphie rapide de MM. Pollak et Virag fonctionnèrent convenablement sur cette ligne et donnèrent à la réception une écriture très nette, quoique, de temps à autre, plusieurs ou tous les autres fils télégraphiques voisins se trouvèrent en service. Les télégrammes d'expérience, courts comme le sont ordinairement les télégrammes, arrivèrent sans erreurs. En un cas, l'appareil fonctionna sans interruption pendant 5 minutes; dans cette dépêche d'environ 2800 mots, quelques rares endroits étaient illisibles; cela était dû probablement au fonctionnement du moteur, qui était trop usagé et quelquefois tournait trop lentement, et à une altération du ruban de papier.

» La vitesse que montrèrent les transmissions expérimentales atteignit environ 32 000 mots par heure.

» On ne constata pas de phénomènes d'induction dans les fils télégraphiques voisins.

» La manipulation du transmetteur, ainsi que celle du récepteur qui, durant les essais, étaient manipulés par M. Pollak lui-même, ne sembla présenter aucune difficulté, ainsi d'ailleurs que le perforateur, qui se présente comme une machine à écrire et que l'on actionne de la même ma-

nière. Autant qu'on put l'observer, la machine à perforer fonctionne sans fautes.

» Le développement photographique de l'écriture, dans l'appareil automatique à développer du récepteur, s'effectua avec régularité. »

Berlin, le 1^{er} mai 1903.

Signé : SYDOW,

Représentant le Secrétaire d'État.

» Il y a un passage, dans le document allemand, qui mérite plus particulièrement notre attention et dans lequel on signale que dans quelques lignes téléphoniques les communications furent très altérées par la ligne Pollak-Virag. En effet, ces altérations provenaient uniquement de la mauvaise disposition de ces lignes téléphoniques. D'ailleurs, dans les expériences entre Berlin et Francfort-sur-Mein, sur une longueur de 550 km, rien de pareil ne fut constaté ; de même les expériences qui ont eu lieu l'année dernière, pendant plusieurs mois, entre Paris et Lyon, n'ont donné lieu à aucun trouble sérieux, comme le prouve le texte suivant du Rapport du Comité technique :

« Un fait à noter est l'immunité complète du système contre les » courants terrestres et ceux du voisinage ; d'autre part, le travail » du Pollak est perçu très nettement sur le circuit voisin, mais il » n'apporte aucun trouble dans la communication téléphonique. » Lors de son essai, la mise en route a été pour ainsi dire instan- » tanée et le fonctionnement régulier immédiat.

» En résumé, cet appareil réalise un progrès très marqué sur les » appareils similaires, et la vitesse de transmission (40 000 mots » par heure) dépasse celle de tous les autres appareils connus. »

» Nous pouvons ajouter que les expériences ont eu lieu sur deux lignes [Paris-Lyon : l'une de 522 km, en fil de 4 mm de diamètre, résistance 751 ohms. L'autre de 519 km, en fil de 3,5 mm. résistance 487 ohms. Les deux fils étaient donc suffisamment différents et néanmoins aucun trouble ne fut constaté.

» En présence de ces succès indéniables, l'Académie hongroise des Sciences, dans sa séance annuelle de 1903, à Budapest, a décerné, en signe d'encouragement, le prix Wahrmann (2 000 fr) aux auteurs de cette invention remarquable.

» Si nous passons maintenant à l'examen des conditions de service pratique du système Pollak-Virag, il nous faut tout d'abord remarquer que l'on ne peut pas employer, avec ce système, les lignes de fil de fer en usage avec les appareils télégraphiques actuels.

» En effet, de telles lignes, comme on peut bien le penser, ne permettent pas le passage de 300 à 400 émissions de courant par seconde, c'est-à-dire un nombre analogue à celui d'une communication téléphonique.

» Il faut donc recourir à des lignes téléphoniques, en cuivre ou bronze, pour la transmission des télégrammes rapides. Nous nous empressons d'ajouter qu'il n'est pas nécessaire que ces lignes soient préservées du phénomène d'induction, comme devraient l'être les lignes téléphoniques, car les appareils Pollak-Virag, ainsi que l'on peut s'en rendre compte par les schémas représentés plus haut, possèdent des téléphones dans lesquels les effets d'induction s'éliminent par la disposition même des circuits. Ils sont donc relativement insensibles aux influences inductives, comme d'ailleurs les expériences précitées, surtout celles faites dans ce but en Allemagne, entre Berlin et Francfort-sur-Mein, sur une longueur de 550 km, l'ont prouvé.

» Toutefois, les avantages économiques du système ne sont pas détruits par l'emploi de lignes de cuivre, car, en réalité, le système Pollak-Virag procure une économie considérable sur l'établissement des lignes, puisqu'il permet, avec 2 fils, de transmettre une même quantité de mots que le système Hughes, par exemple, permet à peine, en employant 20 fils.

» L'économie principale du système Pollak-Virag réside surtout dans la réduction considérable de personnel et de main-d'œuvre. Pour nous en rendre compte, examinons le Tableau suivant, qui offre une comparaison des quatre systèmes actuellement en usage : Morse, Hughes, Baudot et Pollak-Virag, en ce qui concerne leur production, leur capacité et le prix de revient de la transmission des dépêches.

» Il a été admis, comme base de calcul, que 6000 mots taxés doivent être transmis, par heure, entre deux stations. Cela fait, avec les appels, préambules, ordres de service, etc., en réalité, 11 à 12 mille mots à transmettre effectivement. Les dépenses, pour

l'entretien de la ligne de 500 km de longueur, et l'intérêt du capital immobilisé, sont évaluées à 6000 fr, et les frais par employé à 2400 fr par an et par auxiliaire à 1500 fr par an.

» Pour le système Morse, ainsi que pour l'appareil Hughes, il faut deux employés par ligne, tandis que pour le Baudot, où 4 appareils peuvent travailler en même temps sur une ligne pour transmettre 5 à 6 mille mots à l'heure, il faut huit employés et deux dirigeants, soit, pour les deux lignes nécessaires avec deux quadruples : vingt personnes, sans compter les auxiliaires chargés des expéditions, etc.

» Pour le système Pollak-Virag, il faut le travail simultané de l'employé transmetteur, de l'employé récepteur et de sept employés perforateurs, ainsi que de six auxiliaires. Comme l'appareil a une capacité de 40000 mots à l'heure, il en résulte que pour 6000 taxés, soit 12000 mots effectifs à l'heure les employés transmetteur et récepteur resteront libres pendant $\frac{28}{10}$, soit environ 45 minutes pour aider à perforer les rubans des dépêches. Il est également à remarquer que dans le cas où une partie de la grosse clientèle, comme par exemple la presse et la banque, préparerait chez elle les rubans perforés en les apportant, à la place des textes écrits, au bureau du télégraphe, le nombre des employés perforateurs pourrait être encore réduit dans une forte proportion.

» Mais, même avec les conditions envisagées, le Tableau démontre la grande supériorité du système Pollak-Virag. La transmission de 6000 mots taxés, soit 11 à 12 mille effectifs, exige :

Système.	Production et capacité en mots par appareil et par heure.	Nombre des			Dépenses pour		Total par an.
		lignes.	em- ployés.	auxi- liaires.	lignes.	employés et auxiliaires.	
Morse.	500 à 600	20	40	6	120 000	105 000	225 000 fr
Hughes.	1 000 à 1 200	10	20	6	60 000	57 000	117 000 —
Baudot.	5 000 à 6 000	2	20	6	12 000	57 000	69 000 —
Pollak-Virag ...	40 000	2	2	13	12 000	24 300	36 300 —

» Ce Tableau serait encore tout autre, si l'on pouvait l'appliquer à une ligne d'un trafic beaucoup plus intense. En effet, le nombre d'employés dans le système Pollak-Virag ne se modifierait que pour

les opérateurs chargés de la perforation des bandes, tandis qu'un employé suffit entièrement à la station réceptrice. Or, la perforation est le plus simple et le plus rapide de tous les travaux qui viennent en question et elle se fait aussi rapidement que le travail sur une machine à écrire. Elle ne demande donc aucune notion préliminaire, mais seulement de l'habileté manuelle.

» Comme, d'autre part, le système n'exige aucune marche synchrone des appareils, ce qui serait indispensable pour tout autre télégraphe imprimeur, les manipulations de l'employé expéditeur sont également très simples.

» Par conséquent, le système Pollak-Virag permet l'emploi d'une main-d'œuvre à bon marché.

» Il en résulte, en définitif, la possibilité d'une réduction très notable des tarifs. Or, cette dernière amènera la création de nouvelles sources de trafic et de recettes qu'il nous est impossible de passer sous silence. Nous voulons parler des *lettres-télégrammes*, qui sont presque impossibles sous l'ancien régime, ainsi que des *dépêches-circulaires*, la même dépêche pouvant être expédiée simultanément dans n'importe combien de directions et de stations distinctes, en quelques secondes, au moyen du même ruban perforé, sans autre travail manuel, ni préparation ultérieure.

» Dès que l'emploi de la correspondance télégraphique sera rendu possible par le bon marché des communications, elle prendra certainement un développement rapide, surtout dans toutes les relations où le trafic postal prend plus d'une demi-journée, une nuit par exemple, c'est-à-dire principalement dans le trafic international. Cela constitue en même temps un changement très favorable au point de vue des recettes et des bénéfices de l'Administration des Télégraphes. En effet, avec les tarifs élevés d'aujourd'hui, le public se contente de courtes dépêches. Or, il est démontré qu'avec les systèmes actuels chaque télégramme court représente, pour l'Administration, une perte effective. Dans le budget anglais, où l'on ne craint pas de présenter le déficit annuel provenant du service télégraphique, ce déficit a déjà dépassé 20 000 000 fr par an, avec 673 642 km de lignes et 42 039 appareils télégraphiques, dont seulement 5901 Morse. En France, le budget ne porte que les résultats d'ensemble des Postes, Télégraphes et Téléphones, le déficit

des deux derniers services est donc masqué par les bénéfices réalisés dans le service des Postes. D'après divers renseignements, nous ne devons pas nous tromper beaucoup en estimant, pour 1903, le déficit des Télégraphes français (France et Algérie) à 9 millions par an, avec 700 000 km de lignes et 18 992 appareils, dont 13 354 Morse. D'après le rapport officiel n° 2 094 (p. 113), adressé au Parlement pour l'exercice 1905, on constate :

Déficit des Télégraphes en France.....	9 777 983 fr
Déficit des Téléphones » 	1 980 734 fr

En face de l'excédent de recettes des Postes de 75 471 021 fr.

» Ces chiffres parlent par eux-mêmes.

» Avec le télégraphe rapide ces déficits se changeraient rapidement en bénéfices. En effet, aussitôt que les tarifs pourront être abaissés de telle sorte que l'on puisse expédier des dépêches jusqu'à 50 mots, c'est-à-dire de véritables lettres, pour 0,50 fr et jusqu'à 100 mots, pour 1 fr, les petites dépêches disparaîtront complètement, car leur usage n'a été imposé que par les tarifs élevés actuels.

» Ces lettres-télégrammes pourront être apportées au bureau préalablement perforées à domicile, quand l'expéditeur sera une grande administration ou une grande maison de commerce. Pour le reste du public, qui ne pourra pas se procurer une machine à perforer, on installera, dans les bureaux de postes, des employés spéciaux chargés de perforer les lettres-télégrammes contre une rémunération minime.

» Prenons, comme exemple, la ligne Paris-Dijon-Lyon-Marseille, avec un appareil complet dans chacune de ces quatre villes. Il faudra quatre fois deux, soit huit employés, et, avec la relève, en tout seize employés à 3000 fr par an, soit ensemble 48 000 fr par an, pour transmettre chaque jour 4000 lettres-télégrammes. Or, si l'on n'expédiait dans chaque sens, à chacune des 4 stations, que 25 lettres-télégrammes à 1 fr par jour, c'est-à-dire 200 lettres en tout, la recette annuelle de 300 jours serait déjà de 60 000 fr, ce qui couvrirait largement le prix de revient, et le trafic pourrait devenir vingt fois plus considérable sans la plus petite dépense supplémentaire.

» Dans les relations internationales les résultats seraient encore beaucoup plus élevés, sans compter que les lignes et appareils pourraient, en outre, réaliser un bénéfice considérable par le trafic fourni par la presse pendant les heures de la nuit.

» Aussi nos chiffres se passent de tout commentaire et, en considérant tous ces faits, nous devons reconnaître que le télégraphe rapide Pollak-Virag constitue une invention fort ingénieuse, qui est pleine d'avenir, et peut avoir de grandes conséquences à tous égards. »

M. le PRÉSIDENT. — « L'appareil que vient de nous présenter M. Korda est excessivement ingénieux et semble appelé à rendre de grands services à la correspondance rapide. M. Pollak se trouvant parmi nous ce soir, je me fais un plaisir de le féliciter sincèrement de sa remarquable invention, en même temps que je remercie M. Korda de nous avoir si bien expliqué ce nouveau système télégraphique. »

La séance est levée à 11^h 5^m du soir.

ADDENDA A LA COMMUNICATION DE M. BOUTIN

(*Bulletin*, 7 novembre 1906).

LÉGENDES ET ÉCHELLES DES FIGURES.

Figures 1, 2, 3. — Élévation, plan et coupe verticale du galvanomètre enregistreur Blondel-Ragonot ($\frac{1}{4}$ de la vraie grandeur), p. 420, 421 et 422.

Figure 4. — Détail de l'équipage mobile en coupe et plan, p. 423.

Figure 5. — Schéma des circuits du cyclographe Blondel, p. 427.

Figure 6. — Détail du cyclographe Blondel (élévation et coupe) ($\frac{1}{2}$ grandeur), p. 429.

Figure 7. — Oscillations propres de l'équipage mobile avec et sans excitation de l'électro-aimant ($\frac{1}{2}$ grandeur), p. 431.

Figure 8. — Oscillogramme de la charge et de la décharge du condensateur pendant le fonctionnement du cyclographe (self-induction de la source de courant $L = 0,0085$ H) (vraie grandeur), p. 433.

Figure 9. — Oscillogramme de la charge et de la décharge du condensateur quand les oscillations sont amorties par une résistance d'environ 220 ohms, p. 434.

Figure 10. — Spécimen réduit d'une courbe enregistrée sur le cyclographe par le galvanomètre Blondel-Ragonot (tension du Secteur de Levallois-Perret). Trois courbes superposées, crochets de départ et d'arrêt, ligne de zéro enregistrée avant et après l'inscription ($\frac{1}{2}$ grandeur), p. 435.

Figure 11. — Courbes enregistrées sur le cyclographe (tension aux bornes du réseau de Levallois-Perret). Courant de 20 ampères sur self-induction ($\frac{1}{2}$ grandeur), p. 435.

A la note de la page 425, ajouter les mots : *La Lumière électrique*, 16 septembre 1893, p. 503.

BIBLIOGRAPHIE.

Traité de Physique, par CHWOLSON; Ouvrage traduit sur les éditions russe et allemande, par E. DAVAUX, suivi de **Notes sur la Physique**, par E. et F. COSSERAT.

En présence du développement si rapide de la Physique pendant ces dernières années, le besoin d'un grand Traité encyclopédique de cette Science se faisait vivement sentir. C'est donc un réel service que la Librairie scientifique Hermann rend au public savant, en entreprenant cette œuvre de longue haleine que sera la traduction du *Traité de Physique* de Chwolson. Cet Ouvrage, dont le succès a été fort grand à l'étranger, s'adresse aussi bien à l'homme de Science qu'à l'étudiant; tous deux y trouveront leur avantage, le premier dans la manière approfondie dont les questions sont traitées et la richesse des indications bibliographiques; le second dans la mise au point soignée des parties récentes de la Physique dont l'étude systématique est encore si difficile.

Quatre fascicules de la traduction sont déjà parus; ils ne se suivent d'ailleurs pas; ce sont : le premier et le deuxième fascicule du Tome premier, le premier et le deuxième fascicule du Tome deuxième; l'Ouvrage complet comportera quatre Volumes.

Les matières contenues dans les fascicules parus sont les suivantes :

- 1° *Introduction; Mécanique; Méthodes et instruments de mesure.*
- 2° *L'état gazeux des corps.*
- 3° *Émission et absorption de l'énergie rayonnante; Vitesse de propagation; Réflexion et réfraction.*
- 4° *L'indice de réfraction; Dispersion et transformation de l'énergie rayonnante.*

Le plan suivant lequel est développée chacune de ces Parties est nettement dominé par l'idée d'unité qui est le fond de la Physique moderne. C'est ainsi que nous trouvons, dans la Mécanique, non seulement l'étude générale du mouvement, de la force et de l'énergie, mais encore l'étude particulière du mouvement vibratoire qui autrefois appartenait à l'Acoustique ou à l'Optique, et l'étude du potentiel que l'on exposait en électricité; c'est ainsi également que l'étude des gaz est abordée dans son ensemble; c'est ainsi enfin que, dans l'étude des radiations, qu'il s'agisse d'émission, d'absorption, de réflexion, de réfraction, de dispersion ou de transformation, l'étude des radiations électriques n'est jamais séparée de celle des autres radiations, ce qui est bien conforme aux vues de la Physique moderne. Parmi ces dernières matières, nous signalerons, en particulier, le développement pris par l'étude du rayonnement qui a acquis une si grande importance dans ces dernières années.

La traduction française de l'Ouvrage de M. Chwolson a été enrichie de Notes fort importantes de MM. E. et F. Cosserat, *Sur la Dynamique de point et de corps invariables*. La Mécanique rationnelle que l'on pouvait croire fixée en des formes définitives,

tend elle aussi à évoluer parallèlement aux progrès de la Physique. La question des fondements de la Mécanique, qui touche de si près la Philosophie, les discussions relatives au temps absolu et à l'espace absolu, le point de vue si curieux qui consiste à considérer notre Mécanique classique comme une étude de première approximation de l'état du mouvement considéré comme infiniment voisin de l'état de repos, telles sont, sommairement indiquées, les matières que l'on trouvera développées dans les savantes Notes de MM. Cosserat; elles ajoutent un haut intérêt à l'ensemble de l'Ouvrage. Signalons aussi, pour terminer, deux autres Notes complémentaires, l'une de M. E. Davaux, *Sur les intégrations*, l'autre de M. A. de Gramont, *Sur les méthodes modernes d'observation en analyse spectrale*.

Manuel pratique du Monteur électricien, par J. LAFFARGUE, (neuvième édition),
1 vol. Paris, Bernard Tignol.

Elles sont bien rares les publications sur l'électricité qui, en si peu de temps et d'une manière si régulièrement soutenue, parviennent à leur neuvième édition, les huit premières étant épuisées.

Tel est cependant le cas du *Manuel pratique du Monteur électricien*; et ce fait démontre surabondamment sa grande utilité, son intérêt général pour le monde des électriciens praticiens, où il est aussi répandu qu'apprécié pour les services qu'il y rend. Son succès dispense de faire l'éloge de la clarté, de la précision et de l'exactitude des renseignements qu'il contient et son importance croissante fait prévoir une division en deux Volumes qui le rendrait plus maniable.

Disons seulement que l'auteur a mis à profit le tirage de cette édition pour apporter quelques changements à son travail et le mettre au niveau des derniers progrès réalisés.

Du reste, on se rappelle que l'Ouvrage traite, en ses quinze Chapitres, des matières suivantes : *Définitions générales*; *Production et distribution de l'Énergie électrique*; *L'Usine génératrice*; *Canalisations extérieures*; *Installations intérieures*; *Comp-
teurs d'énergie électrique*; *Appareils d'utilisation*; *Accidents et moyens d'y
remédier*; *Instructions pratiques*; *Stations centrales électriques à Paris*; *Exemples
divers d'installations électriques*; *Règlements*; *Manuel par questions et réponses*;
Exercices pratiques.



LISTE DES OUVRAGES

OFFERTS A LA SOCIÉTÉ INTERNATIONALE DES ÉLECTRICIENS.

(Suite.)

La Bibliothèque est ouverte aux Membres de la Société, tous les jours
de 2 heures à 5 heures, excepté les dimanches et jours de fêtes,
12, rue de Staël.

France.

- Bases d'une théorie mécanique de l'Électricité*, par SÉLIGMANN-LUI. Paris, H. Dunod et Pinat, 1906; 1 vol. in-8°, broché. (*Don des Éditeurs.*)
- Leçons élémentaires de Physique*, à l'usage des candidats au certificat d'études physiques, chimiques, naturelles, par Albert TURPAIN. Tome II. Paris, Vuibert et Nony, 1906; 1 vol. in-8°, broché. (*Don de l'Auteur.*)
- Manuel de l'Apprenti et de l'Amateur électricien*. Cinquième Partie : *L'Éclairage électrique dans l'appartement et dans la maison*, par H. DE GRAFFIGNY. Paris, Bernard-Tignol [s. d.], 1906; 1 vol. in-16, cartonné. (*Don de l'Éditeur.*)
- Manuel de manipulations d'Électrochimie*, par C. MARIE. Préface de H. MOISSAN. Données numériques, par M.-G. NOËL. Paris, H. Dunod et E. Pinat, 1906; 1 vol. in-8°, broché. (*Don des Éditeurs.*)
- Moteurs électriques à courant continu et alternatif. Théorie et construction*, par Henry-M. HOBART. Édition remaniée et augmentée. Traduit de l'anglais par F. Achard. Paris, H. Dunod et E. Pinat, 1907; 1 vol. grand in-8°, broché. (*Don des Éditeurs.*)
- Procédés d'allumage des moteurs à explosion*, par A. BERTHIER. Paris, H. Desforges, 1907; 1 vol. in-16, broché. (*Don de l'Éditeur.*)
- Traité de Manipulations et de Mesures électriques, magnétiques et industrielles*, par H. PÊCHEUX. Paris, J.-B. Baillièrre et fils [s. d.], 1906; 1 vol. in-16, cartonné. (*Don des Éditeurs.*)
- Traité de Physique*, par O.-D. CHWOLSON. Traduit sur les éditions russe et allemande par Édouard DAVAUX. Édition revue et considérablement augmentée par l'auteur, suivie de *Notes sur la Physique théorique*, par E. COSSERAT et F. COSSERAT. Tome I^{er}, fascicules 1 et 2; Tome II, fasci-

cules 1 et 2. Paris, A. Hermann, 1905-1906; 4 fascicules grand in-8°, brochés. (*Don de l'Éditeur.*)

Étranger.

Contribution à l'étude des actinomètres électrochimiques, par G. DE Fooz. Bruxelles, Hayez, 1906; 1 brochure in-8°. (*Don de l'Auteur.*)

De algemeene Chemie en hare beteekenis voor de praktijk. Rede uitgesproken...aan de Technische Hoogeschool te Delft, par le Dr A. SMITH. Delft, J. Waltmann Jr, 1906; 1 brochure in-8°. (*Don de l'École technique supérieure de Delft.*)

De Noorder-Lekdijk. Rede uitgesproken...aan de Technische Hoogeschool te Delft, par J. NELEMANS. 'S Gravenhage, F.-G. Belinfante [s. d.], 1906. (*Don de l'École technique supérieure de Delft.*)

Geschiedenis der systematische Mineralogie. Proefschrift..., par E.-H.-M. BEKKMAN. 'S Gravenhage, typ. N.-V. « Drukkerij Trio », 1906; 1 vol. in-8°, broché. (*Don de l'École technique supérieure de Delft.*)

Het experiment in de Gesteentenkunde. Rede uitgesproken...aan de Technische Hoogeschool te Delft, par J.-A. GRUTTERINK. Delft, J. Waltmann Jr, 1906; 1 brochure in-8°. (*Don de l'École technique supérieure de Delft.*)

Sur la valeur la plus probable du rapport $\frac{\varepsilon}{\mu_0}$ de la charge à la masse de l'électron dans les rayons cathodiques, par Ch.-Eug. GUYE. (Université de Genève. Laboratoire de Physique. 2^e série, 1^{er} fascicule.) Genève, Société générale d'Imprimerie, 1906; 1 brochure in-8°. (*Don de l'Auteur.*)

Was sind und wie entstehen Erfindungen? Eine entwicklungstheoretische Studie, von Josef Löwy. Wien und Leipzig, A. Hartleben's Verlag, 1907; 1 brochure in-8°. (*Don de l'Éditeur.*)



TABLE ALPHABÉTIQUE DES MATIÈRES

CONTENUES DANS LE TOME VI (2^e SÉRIE).

Bibliographie.

	Pages
Accumulateurs et les piles électriques (Les), par M. J.-A. Montpellier	399
Analyse des métaux par l'électrolyse, par MM. A. Hollard et L. Bertiaux	441
Année électrique, électrothérapie et radiographique (L'), par M. le Dr Foveau de Courmelles	143
Annuaire publié par le Bureau des Longitudes, pour 1906	203
Applications industrielles de l'Électricité en Amérique (Les), par MM. Holzchuch, G. Roux, A. Silva	142
Clapets électrolytiques (Les), par M. A. Nodon	399
Conférences d'Électricité industrielle, par M. A. Beghin	397
Construction des inducts à courant continu (Manuel du bobinier), par M. E.-J. Brunswick et M. Aliamet	22
Construction des inducts à courant continu. Partie mécanique, par M. E.-J. Bruns- wick et M. Aliamet	439
Cours de Mécanique élémentaire à l'usage des Écoles industrielles, par M. Ph. Meulan	205
Éclairage (L'), par M. A. Véber	401
Électricité industrielle mise à la portée de l'ouvrier (L'), par M. Rosenberg	440
Électrometallurgie des fontes, fers et aciers (L'), par M. C. Matignon	397
Électrons (Sur les), par Sir Oliver Lodge	204
Énergie hydraulique et les récepteurs hydrauliques (L'), par M. U. Masoni	400
Équilibre des fils électriques (L'). Conditions de pose, par M. A. Pillonel	402
État actuel des industries électriques	442
Exposition universelle internationale de Saint-Louis 1904, Section française, Rapport du groupe 74, par M. H. de Grièges	206
Force motrice de demain (La). Les piles à gaz et les accumulateurs légers, par M. A. Berthier	22
Houille verte (La), par M. H. Bresson	440
Législation des accidents du travail (La), par M. L. Grillet	203
Machine dynamo à courant continu (La), par M. E. Arnold	362
Manuel de la fabrication des accumulateurs, par F. Grunwald	203
Manuel d'Électricité théorique et pratique, par MM. Bouasse et L. Brizard	403
Manuel pratique du télégraphiste et du téléphoniste, par M. H. de Graffi- gny	398
Matières éclairantes et leur utilisation (Les) : bougies, huiles, pétroles, gaz	

	Pages
d'éclairage, acétylène, alcools et lusol, charbon et métaux, par M. H. Pécheux.....	92
Mécanique des phénomènes fondés sur les analogies (La), par M. Pétrovitch...	441
Moteurs à collecteur à courants alternatifs, par M. le Dr A. Niethammer.....	402
Moteurs électriques à courant continu (Les), par M. H. Leblond.....	400
Nouveaux appareils pour la mesure rapide des bases géodésiques (Les), par MM. Benoit et Guillaume.....	403
Physique moderne, son évolution (La), par M. L. Poincaré.....	439
Précis d'Hydraulique. La houille blanche, par M. R. Busquet.....	141
Procédés de commande à distance au moyen de l'Électricité (Les), par M. R. Frilley.....	205
Quantités élémentaires d'Électricité. Ions, électrons, corpuscules (Les), par MM. H. Abraham et P. Langevin.....	93
Rapport de la Commission nommée par le Gouvernement canadien.....	401
Règlementation du travail dans les établissements industriels (La), par M. L. Grillet.....	442
Règles normales de l'Association des Électriciens allemands, par M. G. Dettmar.	397
Séparation électromagnétique et électrostatique des minerais (La), par M. D. Korda.....	141
Télégraphes en Europe, leur état actuel en 1905 (Les), par M. E. Guarini.....	206
Theorie, Berechnung und Konstruktion der Dampfturbinen, par M. G. Zahikjanz.	398
Théorie des turbines, par M. G. Zeuner.....	142
Théorie moderne des phénomènes physiques (La). Radioactivité, ions, électrons, par M. A. Righi.....	204
Traité pratique d'Électrochimie, par R. Lorenz.....	94
Traité pratique de Mécanique et d'Électricité industrielles, par MM. G. Caye et A. Saillard.....	92
Troisième supplément au Cours de Physique de l'École Polytechnique, par M. Bouty.....	404

Communications diverses.

Allocution de M. Bouty, Président sortant.....	199
Allocution de M. Leblanc, Président entrant.....	202, 211
Amortissement de l'Emprunt.....	27
Assemblée générale annuelle du 4 avril.....	145
Comité d'administration (Rapport du).....	148
Comité d'administration (Renouvellement partiel).....	98, 198
Commission des comptes, Rapport de l'exercice 1905, par M. Brocq, rapporteur.....	146
Dons.....	6, 28, 146, 210, 254
École supérieure d'Électricité (Liste des élèves diplômés).....	393
Informations.....	21, 361, 394, 438
Invitation de l'Institution of Electrical Engineers (Programme).....	99
Laboratoire et l'École supérieure d'électricité (Compte rendu sur le), par M. Janet.....	150

	Pages
Membres décédés	6, 98, 146, 210, 254, 446
Membres titulaires (Admission de)	6, 26, 98, 146, 210, 254, 318, 406, 446
Nécrologie	210, 446
Ouvrages offerts (Liste des)	23, 95, 144, 208, 315, 363, 443, 487
Réunions ordinaires mensuelles du 6 janvier 1906	5
Id. Id. 7 février 1906	25
Id. Id. 7 mars 1906	97
Id. Id. 4 avril 1906	145
Id. Id. 2 mai 1906	209
Id. Id. 6 juin 1906	253
Id. Id. 4 juillet 1906	317
Id. Id. 7 novembre 1906	405
Id. Id. 5 décembre 1906	445
Situation financière et bilan	158

Communications techniques.

Commande électrique à distance par les ondes hertziennes. Application à la commande d'un sous-marin torpilleur, par M. Devaux	309
Compte rendu de la réunion de la Commission électrotechnique internationale, à Londres, par M. P. Janet	409
Discussion de la communication de M. de Marchena, par MM. Brylinski, Grosse- lin et Boucherot	241, 247, 251
Étalons mercuriels de résistance électrique (Les), par M. Ch.-Ed. Guillaume ...	7
Étalons mercuriels de résistance électrique (Les) (<i>Observation</i>), par M. P. Janet	19
Étude des propriétés magnétiques des tôles par la méthode du wattmètre, par M. Jouaust	219
Étude sur le rapport des trois lampes Carcel, Hefner et Vernon-Harcourt, par MM. Laporte et Jouaust	375
Éclairage électrique aux diverses fréquences (L'), par M. Lauriol	29
Éclairage électrique aux diverses fréquences (L') (<i>Observations</i>), par MM. Blondel et Brylinski	32, 40
Lampe Cooper Hewitt à courant alternatif monophasé (La), par M. Reckling- hausen	195
Limites admissibles pour les tensions de service des câbles armés, par M. de Marchena	163
Mesures de sécurité à conseiller pour l'exploitation des réseaux à courant alter- natifs. Résumé des discussions de la Société, par M. Grosselin	343
Méthodes de mesure dans la télégraphie sans fil (Les), par M. Tissot	319
Moteurs à explosion et à combustion (Les), par M. Bochet	449
Nouveau galvanomètre enregistreur de MM. Blondel et Ragonot et ses applica- tions à l'étude des courants alternatifs, par M. Boutin	419, 484
Nouveaux pyromètres thermo-électriques industriels, par M. Pillier	183
Rayons cathodiques dans le champ magnétique (Les), par M. Villard	45

	Pages
Recherches récentes sur le mécanisme de la décharge disruptive, par M. Langevin	69
Résistance des conducteurs en courant variable (Sur la), par M. Brylinski	255
Télégraphe rapide, système Pollak-Virag, par M. D. Korda	465
Théorie des alliages magnétiques du manganèse, par M. Ch.-Ed. Guillaume	301
Utilité et les moyens d'éviter les harmoniques dans les appareils à courants alternatifs (Sur l'), par M. Guéry	101
Voyage en Grande-Bretagne, par M. Brylinski	365



TABLE ALPHABÉTIQUE DES AUTEURS

CITÉS DANS LE TOME VI (2^e SÉRIE).

	Pages
ABRAHAM (H.) et LANGEVIN (P.). — Les quantités élémentaires d'électricité. Ions, électrons, corpuscules. (<i>Bibl.</i>).....	93
ALIAMET (M.) et BRUNSWICK (E.-J.). — Construction des inducts à courant continu. (Manuel du bobinier.) (<i>Bibl.</i>).....	22
ALIAMET et BRUNSWICK. — Construction des inducts à courant continu. Partie mécanique. (<i>Bibl.</i>).....	439
ARNOLD (E.). — La machine dynamo à courant continu. (<i>Bibl.</i>).....	362
BEGHIN (A.). — Conférences d'Électricité industrielle. (<i>Bibl.</i>).....	397
BENOÎT et GUILLAUME. — Les nouveaux appareils pour la mesure rapide des bases géodésiques. (<i>Bibl.</i>).....	403
BERTHIER (A.). — La force motrice de demain. Les piles à gaz et les accumulateurs légers. (<i>Bibl.</i>).....	22
BERTIAUX (L.) et HOLLARD (A.). — Analyse des métaux par l'électrolyse. (<i>Bibl.</i>).....	441
BLONDEL. — Observations sur l'éclairage électrique aux diverses fréquences..	32
BOCHET. — Les moteurs à explosion et à combustion.....	449
BOUASSE et L. BRIZARD. — Manuel d'Électricité théorique et pratique. (<i>Bibl.</i>)..	403
BOUCHEROT. — Discussion de la Communication de M. de Marchena.....	251
BOUTIN. — Nouveau galvanomètre enregistreur de MM. Blondel et Ragonot et ses applications à l'étude des courants alternatifs.....	419
BOUTY. — Allocution	199
BOUTY. — Troisième supplément au Cours de Physique de l'École Polytechnique. (<i>Bibl.</i>).....	404
BRESSON (H.). — La Houille verte. (<i>Bibl.</i>).....	440
BRIZARD (L.) et BOUASSE. — Manuel d'Électricité théorique et pratique. (<i>Bibl.</i>).....	403
BROCQ. — Rapport de la Commission des Comptes pour l'Exercice 1905.....	146
BRUNSWICK (E.-J.) et ALIAMET (M.). — Construction des inducts à courant continu. (Manuel du bobinier.) (<i>Bibl.</i>).....	22
BRUNSWICK et ALIAMET. — Construction des inducts à courant continu. Partie mécanique. (<i>Bibl.</i>).....	439
BRYLINSKI. — Sur la résistance des conducteurs en courant variable.....	255
BRYLINSKI. — Voyage en Grande-Bretagne.....	365
BRYLINSKI. — Observations sur l'éclairage électrique aux diverses fréquences..	32
BRYLINSKY. — Discussion de la Communication de M. de Marchena.....	241

	Pages
BUSQUET (R.). — Précis d'Hydraulique. La Houille blanche. (<i>Bibl.</i>).....	141
CAYE (G.) et SAILLARD (A.). — Traité pratique de Mécanique et d'Électricité industrielles. (<i>Bibl.</i>).....	92
DETTMAR (G.). — Règles normales de l'Association des Électriciens allemands. (<i>Bibl.</i>).....	397
DEVAUX. — Commande électrique à distance par les ondes hertziennes. Application à la commande d'un sous-marin torpilleur.....	309
FOVEAU DE COURMELLES (D ^r). — L'Année électrique, électrothérapie et radiographique. (<i>Bibl.</i>).....	143
FRILLEY (R.). — Les procédés de commande à distance au moyen de l'électricité. (<i>Bibl.</i>).....	205
GRAFFIGNY (H. DE). — Manuel pratique du Télégraphiste et du Téléphoniste. (<i>Bibl.</i>).....	398
GRIÈGES (H. DE). — Exposition universelle internationale de Saint-Louis 1904. Section française, rapport du groupe 74. (<i>Bibl.</i>).....	206
GRILLET (L.). — La législation des accidents du travail. (<i>Bibl.</i>).....	203
GRILLET (L.). — La réglementation du travail dans les établissements industriels. (<i>Bibl.</i>).....	442
GROSSELIN. — Mesures de sécurité à conseiller pour l'exploitation des réseaux à courant alternatif. Résumé des discussions de la Société.....	343
GROSSELIN. — Discussion de la Communication de M. de Marchena.....	247
GRUNWALD (F.). — Manuel de la fabrication des accumulateurs. (<i>Bibl.</i>).....	203
GUARINI (E.). — Les télégraphes en Europe, leur état actuel en 1905. (<i>Bibl.</i>) ..	206
GUÉRY. — Sur l'utilité et les moyens d'éviter les harmoniques dans les appareils à courants alternatifs.....	101
GUILLAUME (CH.-ED.). — Les étalons mercuriels de résistance électrique.....	7
GUILLAUME (CH.-ED.). — Théorie des alliages magnétiques du manganèse.....	301
GUILLAUME et BENOIT. — Les nouveaux appareils pour la mesure rapide des bases géodésiques. (<i>Bibl.</i>).....	403
HOLLARD (A.) et BERTIAUX (L.). — Analyse des métaux par l'électrolyse. (<i>Bibl.</i>).....	441
HOLZCHUCH, ROUX (G.) et SILVA (A.). — Les applications industrielles de l'Électricité en Amérique. (<i>Bibl.</i>).....	142
JANET (P.). — Compte rendu de la réunion de la Commission électrotechnique internationale, à Londres.....	409
JANET. — Compte rendu sur le Laboratoire et l'École supérieure d'Électricité.....	150
JANET (P.). — Observations sur les étalons mercuriels de résistance électrique..	19
JOUAUST. — Étude des propriétés magnétiques des tôles par la méthode du wattmètre.....	219
JOUAUST et LAPORTE. — Étude sur le rapport des trois lampes Carcel, Hefner et Vernon-Harcourt.....	375
KORDA (D.). — La séparation électromagnétique et électrostatique des minerais. (<i>Bibl.</i>).....	141
KORDA (D.). — Télégraphe rapide, système Pollak-Virag.....	165
LANGEVIN. — Recherches récentes sur le mécanisme de la décharge disruptive..	69
LANGEVIN (P.) et ABRAHAM (H.). — Les quantités élémentaires d'électricité. Ions, électrons, corpuscules. (<i>Bibl.</i>).....	93

	Pages
LAPORTE et JOUAUST. — Étude sur le rapport des trois lampes Carcel, Hefner et Vernon-Harcourt.....	375
LAURIOL. — L'éclairage électrique aux diverses fréquences.....	29
LEBLANC (M.). — Allocution	202.
LEBLOND (H.). — Les moteurs électriques à courant continu. (<i>Bibl.</i>).....	400
LODGE (SIR OLIVER). — Sur les électrons. (<i>Bibl.</i>).....	204
LORENZ (R.). — Traité pratique d'Électrochimie. (<i>Bibl.</i>).....	94
MARCHENA (DE). — Limites admissibles pour les tensions de service des câbles armés.....	163
MASONI (U.). — L'énergie hydraulique et les récepteurs hydrauliques. (<i>Bibl.</i>)..	400
MATIGNON (C.). — L'électrométallurgie des fontes, fers et aciers. (<i>Bibl.</i>).....	397
MEULAN (PH.). — Cours de Mécanique élémentaire à l'usage des Écoles industrielles. (<i>Bibl.</i>)	205
MONTPELLIER (J.-A.). — Les accumulateurs et les piles électriques. (<i>Bibl.</i>)....	399
NIETHAMMER (DR A.). — Moteurs à collecteur à courants alternatifs. (<i>Bibl.</i>)....	402
NODON (A.). — Les clapets électrolytiques. (<i>Bibl.</i>).....	399
PÉCHEUX (H.). — Les matières éclairantes et leur utilisation : bougies, huiles, pétroles, gaz d'éclairage, acétylène, alcools et lusol, charbon et métaux. (<i>Bibl.</i>).....	92
PÉTROVICH. — La mécanique des phénomènes fondée sur les analogies. (<i>Bibl.</i>)..	441
PILLIER. — Nouveaux pyromètres thermo-électriques industriels.....	183
PILLONEL (A.). — L'équilibre des fils électriques. Conditions de pose. (<i>Bibl.</i>)...	402
POINCARÉ (L.). — La Physique moderne, son évolution. (<i>Bibl.</i>).....	439
RECKLINGHAUSEN (DE). — La lampe Cooper-Hewitt à courant alternatif monophasé.....	195
RIGHI (A.). — La théorie moderne des phénomènes physiques. Radio-activité, ions, électrons. (<i>Bibl.</i>).....	204
ROSENBERG (E.). — L'électricité industrielle mise à la portée de l'ouvrier. (<i>Bibl.</i>)..	440
ROUX (G.), HOLZCHUCH et SILVA (A.). — Les applications industrielles de l'Électricité en Amérique. (<i>Bibl.</i>).....	142
SAILLARD (A.) et CAYE (G.). — Traité pratique de Mécanique et d'Électricité industrielles. (<i>Bibl.</i>).....	92
SILVA (A.), HOLZCHUCH et ROUX (G.). — Les applications industrielles de l'Électricité en Amérique. (<i>Bibl.</i>).....	142
TISSOT. — Les méthodes de mesure dans la télégraphie sans fil.....	319
VEBER (A.). — L'éclairage. (<i>Bibl.</i>).....	401
VILLARD. — Les rayons cathodiques dans le champ magnétique.....	45
ZAHIKJANZ (G.). — Theorie, Berechnung und Konstruktion der Dampfturbinen. (<i>Bibl.</i>).....	398
ZEUNER (G.). — Theorie des turbines. (<i>Bibl.</i>).....	142



PARIS. — IMPRIMERIE GAUTHIER-VILLARS.
37836 Quai des Grands-Augustins, 55.





UNIVERSITY OF MINNESOTA
sci,pere ser.2:t.6

Soci et e internationale des electricie
Bulletin de la Soci et e internationale



3 1951 000 874 730 U

Minnesota Library Access Center



9 ZA R02 D19 S04 TE Y